

# **Intern rapport nr. 2362**

## **Brannsikring av tunnelisolasjon**

**August 2004**

**Teknologiavdelingen**

# Intern rapport nr. 2362

## Brannsikring av isolasjon til vann- og frostsikring i tunneler

### Sammendrag

Norges branntekniske laboratorium as (NBL), SINTEF, har i denne rapporten foreslått en revidert versjon av kapittelet "Dimensjonering for brann" i Håndbok 163 (se Vedlegg A). Der anbefaler NBL konkrete anvisninger om hvordan de branntekniske egenskapene til brennbar tunnelisolasjon skal dokumenteres, hvordan brennbar isolasjon skal brannsikres, og hvilke krav som skal stilles til brannbeskyttelse av brennbar isolasjon.

En brann i hulrommet mellom betonghvelvet og fjell vil medføre en betydelig trykkoppbygging i hulrommet. Trykkoppbygging i hulrommet vil normalt ikke kunne skade hvelvet, men kan presse store mengder med brennbar gass inn i tunnelen og gi en stor brann i nærområdet til skaden. Det vil derfor være av stor sikkerhetsmessig betydning å minimalisere sjansene for at det kan oppstå en betydelig mekanisk skade i hvelvet som resultat av f.eks. en kollisjon med påfølgende brann.

Rapporten gir en oversikt over branntekniske egenskaper til ulike betongkvaliteter, og hvordan betongoverdekning bør testes. Brannsikkerheten i forhold til ubeskyttet brennbar isolasjon i forbindelse med driving, og vurdering av detaljer i forbindelse med utførelse av brannbeskyttelse, er også behandlet i rapporten.

**Rapporten er skrevet av Norges Branntekniske Laboratorium as.**

Emneord: *Tunnel, vann- og frostsikringsisolasjon, sikkerhet,*

Seksjon: Geo- og tunnelteknikk

Saksbehandler: Harald Buvik

*/HBU*

Dato: *August 2004*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet  
**Teknologiavdelingen**

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo  
Telefon: 22 07 35 00 Telefax: 22 07 37 68

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>Sammendrag</b>	<b>2</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>3</b>
<b>2. Konsekvenser av brann i plastisolasjonen bak betongskallet</b>	<b>5</b>
2.1 Generelt	5
2.2 Hvordan vil en brann på baksiden av betongskallet utvikle seg?	5
2.3 Vil dette påvirke betongskallet?	8
2.4 Hvordan vil brannen kunne påvirke tunneltverrsnittet?	8
<b>3. Brennbar isolasjon – krav til dokumentasjon og akseptkriterier</b>	<b>9</b>
3.1 Eksisterende krav i Håndbok 163	9
3.2 ISO 4589 - bestemmelse av oksygenindeks	9
3.3 NS-EN ISO 11925-2 - prøving av antennelighet med liten flamme	10
3.4 Brann teknisk prøving av aktuelle plastisolasjonsmaterialer	12
3.4.1 Produkter	12
3.4.2 Brann teknisk prøving	13
3.4.3 Resultater fra prøvingene	14
3.5 Kan prøving i henhold til EN-ISO 11925-1 erstatte ISO 4589?	14
<b>4. Brennbare overflater mot trafikkrommet – krav til dokumentasjon og akseptkriterier</b>	<b>15</b>
<b>5. Betongkvaliteter – motstand mot avskalling ved brannpåkjenning</b>	<b>16</b>
5.1 Funksjonskrav	16
5.2 Erfaringer fra brannprøvinger	16
5.3 Betong – egenskaper ved brannpåkjenning	17
5.4 Passiv brannbeskyttelse av betong	20
5.5 Forslag til testprogram	20
5.5.1 Funksjonstesting	20
5.5.2 Brannprøving	21
<b>6. Brannbeskyttelse ved driving</b>	<b>23</b>
6.1 Krav til personell	23
6.2 Håndtering av brennbar materiale	23
6.3 Kontroll med tennkilder	24
6.4 Prosedyrer ved montering av brennbar isolasjon	25
6.5 Sikring og slokkeutstyr	25
6.6 Tiltak ved brann	25
<b>7. Detaljer ved utførelse av brannbeskyttelse</b>	<b>26</b>
7.1 Generelt	26
7.2 Avslutning ved avbrudd av brennbar isolasjon mot fjell	26
7.3 Detalj ved tunnelinnløp	26
7.4 Tverrslag mellom toløps-tunnel	26
7.5 Utførelse av avkjørsler og lommer	27
7.6 Gjennomføringer og vertikale sjakter	27
<b>REFERANSER</b>	<b>28</b>

**Vedlegg A: Revidert utkast til kapittel 5 i Håndbok 163**

**Vedlegg B: Grunnlag for beregning av brannutvikling i hulrom**

**Vedlegg C: Grunnlag for beregning av varmestråling fra kjøretøy**

**Vedlegg D: Varmepåkjenning ved brann i kjøretøy plassert i vegbanen**

## Sammendrag

Vegdirektoratet har henvendt seg til Norges branntekniske laboratorium as (NBL), SINTEF, med et ønske om å få revidert kapittelet "Dimensjonering for brann" i Håndbok 163. En revidert versjon av dette kapittelet er gjengitt i Vedlegg A. Der anbefaler NBL konkrete anvisninger om hvordan de branntekniske egenskapene til brennbar tunnelisolasjon skal dokumenteres, hvordan brennbar isolasjon skal brannsikres, og hvilke krav som skal stilles til brannbeskyttelse av brennbar isolasjon.

Eksponering fra brann i et kjøretøy i en tunnel baserer seg på 5 MW i 45 minutter (personbil). Brann i større kjøretøy, slik som mindre varebiler (4 ganger effekten fra personbil) vil gi samme eksponering, men med lengre varighet. Varigheten kan da variere fra 45 minutter til 90 minutter. Beskyttelsen av brennbart materiale vil kreve lengre brannmotstand ved brann i en mindre varebil enn ved brann i en personbil.

Dersom det skulle oppstå skade eller hull i betonghvelvet inn mot hulrommet mellom fjell og brennbar vann- og frostsikringsmateriale, kan det medføre en betydelig brann i dette hulrommet. En slik brann vil ikke ha tilstrekkelig tilgang på luft, men vil medføre en betydelig trykkoppbygging i hulrommet. Trykkoppbygging i et hulrom med høyde mindre eller lik 0,5 m vil normalt ikke kunne skade hvelvet, men kan presse store mengder med brennbar gass inn i tunnelen og gi en stor brann i nærområdet til skaden. Det vil derfor være av stor sikkerhetsmessig betydning å minimalisere sjansene for at det kan oppstå en betydelig mekanisk skade i hvelvet som resultat av f.eks. en kollisjon med påfølgende brann.

I dagens versjon av Håndbok 163 er det krav til at brennbar isolasjon er testet i henhold til ISO 4589, og har en oksygenindeks på minimum 25 %. I dette prosjektet har vi målt oksygenindeksen for flere ulike typer brennbar isolasjon, både ubehandlede og flammehemmende kvaliteter, og samtidig testet antenneligheten for produktene i henhold til den nye europeiske standarden NS EN-ISO 11925-2. NBL vil anbefale at det settes krav til dokumentasjon fra prøving i henhold til NS EN-ISO 11925-2 for brennbar tunnelisolasjon, og at det kreves at produktet tilfredsstillende kravene til antennelighet for klasse D eller bedre, med tilleggsklassifisering d0 (= tillater ikke brennende dråper i testen). Dette vil gi en økt sikkerhet mot at ubeskyttet, brennbar isolasjon antennes i forbindelse med driving av tunneler.

Rapporten gir en oversikt over branntekniske egenskaper til ulike betongkvaliteter, og hvordan betongoverdekning bør testes. Brannsikkerheten i forhold til ubeskyttet brennbar isolasjon i forbindelse med driving, og vurdering av detaljer i forbindelse med utførelse av brannbeskyttelse, er også behandlet i rapporten.

Resultater fra prøving av vanlige sprøytebetongkvaliteter viser at de ikke nødvendigvis er termisk stabile. Enkle tiltak, slik som å tilsette betongen tilstrekkelig med polypropylen-fiber (PP-fiber), kan gi svært gode resultater med hensyn til å unngå avskalling av betong ved termisk branneksposering (det er viktig å merke seg at økt fasthet i betong øker avskalling ved branneksposering). NBL vil her anbefale at denne type betong eller tilsvarende anvendes ved beskyttelse av underliggende brennbart materiale, og at man følger de retningslinjer som foreslås i Håndbok 163 for å dokumentere at de enkelte leverandører av betong tilfredsstillende krav.

Bruk av PP-fiber kan være teknisk vanskelig, ved at blandingen lett blir inhomogen. NBL anbefaler at man ser på ulike løsninger for tilsetning av PP-fiber.

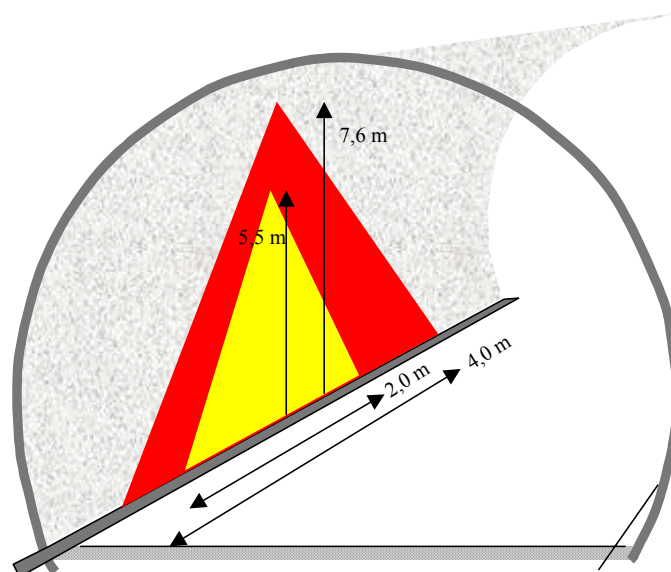
## 1. Innledning

Vegdirektoratet har henvendt seg til Norges branntekniske laboratorium as (NBL), SINTEF, med et ønske om å få revidert kapittelet "Dimensjonering for brann" i *Håndbok 163 Vann og frostsikring i tunneler* <sup>1/</sup>. Revisjonen skal gi konkrete anvisninger om hvordan de branntekniske egenskapene til brennbar tunnelisolasjon skal dokumenteres, om hvordan brennbar isolasjon skal brannsikres, og hvilke krav som skal stilles til brannbeskyttelse av brennbar isolasjon. I *Håndbok 021 Vegtunneler* <sup>2/</sup> er alle faser ved gjennomføringen av et veggtunnelprosjekt behandlet. Håndbok 021 omfatter både planlegging, bygging, vedlikehold og drift.

Denne rapporten gir ikke en inngående analyse av hvilke scenarier som er mest sannsynlige i forbindelse med branner i tunneler. Rapporten fokuserer på å dimensjonere termisk last, og vi har tatt utgangspunkt i at en eventuell brann i en personbil ikke skal kunne utvikle seg til å representere en vesentlig fare for andre trafikanter. Spesielt ønsker man å unngå at en slik brann sprer seg til brennbare konstruksjonsdeler i selve tunnelen, og dermed medfører en trussel for andre trafikanter <sup>3/</sup>. Scenariet brann i personbil er gitt av Vegdirektoratet, og NBL har anslått den til å ha en konstant effektavgivelse på 5 MW i 45 minutter (tilsvarer 300 kg med brennbart materiale med brennverdi 45 MJ/kg). Høyest termisk eksponering mot konstruksjonsdeler oppnås når flammer direkte omhyller konstruksjonsflatene. For et kjøretøy i brann i en tunnel, vil høyest eksponering oppstå når kjøretøyet brenner inntil en av sideveggene, se figur 1.1.

En mindre varebil kan antas å ha 4 ganger mer brennbart materiale enn en personbil, dvs. 1200 kg. Hvis man antar at alt brenner opp i løpet av 45 minutter, gir dette en brann på 20 MW (4 ganger verdien til en personbil). Beregninger vist i vedlegg C viser at varmestråling fra branner med effekt på 5 MW og 20 MW gir omtrent samme eksponeringsnivå, omlag 140 kW/m<sup>2</sup> (tilsvarer 930°C). Området som er eksponert er betydelig større for en 20 MW brann enn for en brann på 5 MW. Ved ytterligere økning av branneffekten vil den innelukkete geometrien påvirke brannen og dermed øke brannintensiteten. Dette vil gi økt termisk eksponering. Det er ikke rimelig å anta effekt høyere enn 20 MW for små varebiler og tomme lastebiler, men det vil være mer sannsynlig med lavere effekt og lengre varighet. F.eks. vil 10 MW gi en varighet på 90 minutter med omlag 140 kW/m<sup>2</sup> inn mot tunnelhvelv. Å dimensjonere beskyttelse av brennbar isolasjon mot brann i mindre varebiler, vil normalt gi økt krav til brannmotstandstid.

Vesentlig mindre eksponering vil oppstå når det er en vegskulder mellom det brennende kjøretøyet og sideveggene i tunnelen. For kjøretøy i vegbanen, vil en brann i størrelsesorden 20-30 MW tilsvare scenariet med personbil inntil sidevegg. Ut fra beregninger gitt i vedlegg C, vil en brann på 20 MW plassert henholdsvis 1 m og 1,5 m fra veggen gi omlag 60% (90 kW/m<sup>2</sup>) og 50% (70 kW/m<sup>2</sup>) påkjenning i forhold til brann plassert helt inntil veggen. For en personbil (5MW), vil påkjenning bli redusert til 40% (60 kW/m<sup>2</sup>) ved avstand til vegg lik 1 m og til 30% (40 kW/m<sup>2</sup>) ved 1,5 m avstand til vegg.



Figur 1.1 Eksponering fra brann i en personbil og i en varebil

De foreslåtte termiske eksponeringene (påkjenningene) i denne rapporten dekker alle branner på 5 MW i 45 minutter, og branner i størrelsesorden 20 MW (avhengig av ventilasjonsforhold) plassert i vegbanen med avstand større enn 1,0 meter til veggflater og varighet mindre enn 45 minutter.

De foreslåtte eksponeringsnivåer for brann i tunnel i denne rapporten baser seg på scenariet 5MW brann plassert inn mot sideveggen i 45 minutter.

Høsten 2002 ble det utført brannteknisk prøving av PE-skum beskyttet med sprøytebetong i NBLs laboratorium. Konstruksjonen ble testet i en vertikalovn, og ble eksponert for standard tid-temperaturkurve i henhold til NS 3904. Resultatene fra denne prøvingen viste at det var nødvendig med en ny vurdering av hvordan brennbar tunnelisolasjon skal brannbeskyttes og dokumenteres.

## **2. Konsekvenser av brann i plastisolasjonen bak betongskallet**

### **2.1 Generelt**

Oppgaven går ut på å vurdere konsekvensen av at bakenforliggende isolasjon antennes. Følgende spørsmål skal besvares ved hjelp av blant annet beregninger:

1. Hvilken brann kan en forvente å få på baksiden av betongskallet?
2. Hvilken belastning (trykk og temperatur) vil skallet bli utsatt for?
3. Vil dette påvirke betongskallet?
4. Vil brannen kunne påvirke trafikanter i tunnelen?

### **2.2 Hvordan vil en brann på baksiden av betongskallet utvikle seg?**

Tunnelkonstruksjoner der PE-skum med betongoverdekning danner et tunnelhvelv med et betydelig hulrom mellom PE-skum og fjellvegg, kan ved en eventuell brann med rikelig lufttilgang gi store konsekvenser. Normalt vil det være store mengder med PE-skum i slike hulrom, tilstrekkelig til å gi svært kritiske tilstander i en tunnel hvis den blir eksponert for brann. Det betyr at det er viktig å konstruere hulrommene tette, slik at man ved en eventuell brann får minimal lufttilførsel. Selv om det er liten sannsynlighet for at vesentlig skade i beskyttelsen oppstår, er det viktig å kjenne til konsekvensene hvis det skjer.

Mulige brannscenarier er:

To biler kolliderer, og den ene blir slengt inn i tunnelveggen og lager et hull i betongoverdekningen. Bilen begynner å brenne, hovedsakelig på grunn av lekkasje av drivstoff som antennes. Denne brannen medfører at det avdekkede PE-skummet også begynner å brenne.

En brann oppstår i et større kjøretøy som er plassert inntil tunnelveggen, og etter en tid (30-60 minutter) svikter den passive brannbeskyttelsen, og brannen sprer seg til hulrommet.

#### **Tidlig fase av brann i hulrommet bak tunnelhvelvet.**

Innledningsvis vil en slik brann spre seg inn i hulrommet og bruke av den tilgjengelige luften der. Dette vil gi en trykkoppbygning i hulrommet, med etterfølgende utblåsing av røykgasser og eventuelt uforbrente gasser ut gjennom alle åpninger. I åpningene vil de uforbrente gassene bli blandet med luft (oksygen) og fortsette å brenne.

En slik brann kan studeres ved å lage en enkel modell og vurdere effekten ulike parametervariasjoner gir. Ligningene og randbetingelsene er gitt i Vedlegg B.

Beregningene viser at hullstørrelser/lekkasjeareal større enn 0,5 m<sup>2</sup> ikke vil gi trykkoppbygging, og brannen vil raskt stabilisere seg, enten ved å slokne eller ved å danne en stabil inn- og utstrømning i hullet. Resultatet fra slike betraktninger er vist i Figur 2.1.

Ved et svært lite hull, blir resultatene som vist i Tabell 2.1.

Tabell 2.1 *Resultat for svært små hullstørrelser*

Beskrivelse av parameter	Verdi			Enhet
Hullareal	≈ 0	≈ 0	≈ 0	m <sup>2</sup>
Høyde i hulrom (avstand)	0,5	1,0	2,0	m
<b>Resultat</b>				
Maks trykk inne i hulrommet	7,6	15	30	kPa
Gjennomsnittlig temperaturøkning i hulrom	21	43	85	°C
Mengde luft/røyk som strømmer ut	0	0	0	kg

Ved et hullareal på 0,1 m<sup>2</sup> synker trykket noe, men store mengder gass strømmer ut.

Tabell 2.2 *Resultat for hullstørrelse på 0,1 m<sup>2</sup>. Utstrømningen varer i omlag 8 minutter*

Beskrivelse av parameter	Verdi			Enhet
Hullareal	0,1	0,1	0,1	m <sup>2</sup>
Høyde i hulrom (avstand)	0,5	1,0	2,0	m
<b>Resultat</b>				
Maks trykk inne i hulrommet	5,6	12	25	kPa
Gjennomsnittlig temperaturøkning i hulrom	21	40	80	°C
Mengde luft/røyk som strømmer ut	286	748	1178	kg

Økes utløpsarealet til 0,25 m<sup>2</sup>, synker trykket raskt inne i hulrommet, mens mengden gass som strømmer ut er omlag som tidligere, dvs. i underkant av 300 kg. Dette er vist i tabell 2.3

Tabell 2.3 *Resultat for hullstørrelse på 0,25 m<sup>2</sup>. Utstrømningen varer i omlag 1 minutt*

Beskrivelse av parameter	Verdi			Enhet
Hullareal	0,25	0,25	0,25	m <sup>2</sup>
Høyde i hulrom (avstand)	0,5	1,0	2,0	m
<b>Resultat</b>				
Maks trykk inne i hulrommet	1	9	20	kPa
Gjennomsnittlig temperaturøkning i hulrom	21	42	77	°C
Mengde luft/røyk som strømmer ut	282	1055	2431	kg

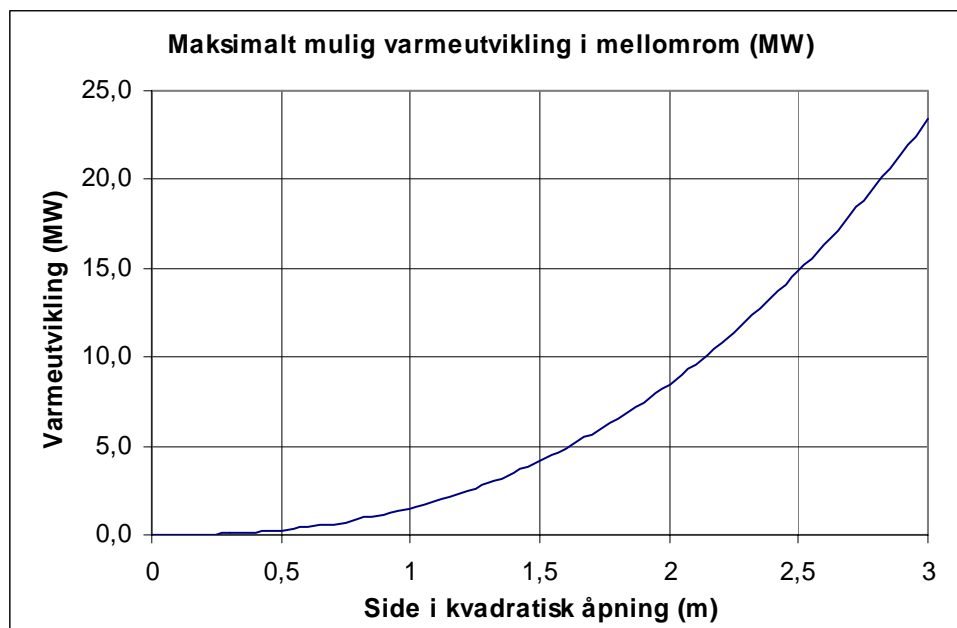


I blandingen luft/røyk kan det være betydelige mengder med uforbrente gasser fra PE-skummet. Hvis man antar at denne mengden er 10 % av PE-skummet, tilsvarer det en energimengde på 1200 MJ, eller en brann på 20 MW i ett minutt ved høyde i hulrom på 0,5 m. I ekstreme tilfeller kan 50 % av gassene fra PE-skummet være uforbrent, noe som kan resultere i en brann på 100 MW i ett minutt. En slik brann vil være svært kritisk for de som befinner seg i området nær hullet i tunnelveggen. Dette problemet øker tilnærmet proporsjonalt med høyden i hulrommet. Det samme gjelder også for maksimalt trykk i hulrommet.

Etterhvert som oksygenet inne i hulrommet blir forbrukt, vil hullet fungere som en to-veis ventil som slipper luft inn og røykgasser ut. Dette kan enten skje ved naturlig pumping eller jevn strømning ut og inn samtidig.

Brannen vil da være begrenset av åpningsarealet i betonghvelvet. I den videre analysen antas dette hullet å være 1 m<sup>2</sup>. Beregningsgrunnlaget er gitt i Vedlegg B.

Figur 2.1 viser den maksimale branneffekten som funksjon av størrelsen på hullet i betonghvelvet.



**Figur 2.1** *Maksimal branneffekt som funksjon av ventilasjonsarealet inn til hulrommet mellom fjell og betonghvelv.*

Spredningshastigheten av brannen i hulrommet vil være avhengig av blant annet lufttilførselen som bestemmer hvor mye PE-skum som maksimalt kan brenne. Når man antar at *alt* oksygen deltar i forbrenningen, kan det ved et ventilasjonsareal på 1-2 m<sup>2</sup> maksimalt bli utviklet en varmeeffekt på 1,5 – 8,0 MW. Varigheten av en slik brann kan være flere døgn.

### **2.3 Vil dette påvirke betongskallet?**

En gjennomsnittlig temperaturøkning på 20-30 °C og maksimaltrykk 5-6 kPa vil ikke skade betongskallet i nevneverdig grad.

Til sammenligning må en eksempelvis opp i et eksplosjonsovertrykk på 3-7 kPa (0,03-0,07 bar) for å knuse vindusglass, og 7-14 kPa for å forårsake ødeleggelse av asbestpanel eller utbøyning/buling av stål- og aluminiumspanel. Dette er sterkt avhengig av dimensjoner, men ofte brukt i bygningsrelaterte problemstillinger.

### **2.4 Hvordan vil brannen kunne påvirke tunnelverrsnittet?**

I tidlig fase vil brannen i hulrommet på grunn av overtrykk presse ut store mengder røyk og uforbrent gass, som kan gi en betydelig brann med kort varighet. Denne brannen vil være en risiko for de som befinner seg i umiddelbar nærhet av hullet. Etter trykklikevekt vil brannen forårsake en kraftig røykproduksjon, som trolig vil medføre at hele tunnelverrsnittet vil bli fylt med røyk ved brannstedet i løpet av kort tid. Røyken vil neppe danne et røyksjikt ved taket i tunnelen på grunn av den forholdsvis lave temperaturen i røyken ( $\approx 300$  °C) som blander seg med lufta i tunnelen. Denne brannen vil neppe påvirke tunnelverrsnittets struktur.

### 3. Brennbar isolasjon – krav til dokumentasjon og akseptkriterier

#### 3.1 Eksisterende krav i Håndbok 163

I Utkast til kapittel 5, "Dimensjonering for brann" i Håndbok 163 er følgende krav til brennbar isolasjon beskrevet:

*PE-skum skal være av tungt antennelig type med oksygenindeks min. 25 % iht. ISO 4589. For laminerte PE-skum plater gjelder dette alle lag.*

Hensikten med dette kravet er å sikre at isolasjonen ikke blir antent av mindre tennkilder under driving, det vil si før den brennbare isolasjonen er tildekket med ubrennbart materiale. Høy oksygenindeks vil ikke nødvendigvis bety at isolasjonen vil motstå antennelse og brannutvikling når den utsettes for større brannkilder, som for eksempel en brennende bil.

I det reviderte forslaget til kapittel 5, "Dimensjonering for Brann", i Håndbok 163 som er gjengitt i Vedlegg A, er *PE-skum* erstattet med *brennbar isolasjon* der uttrykket forekommer i teksten. Dette er gjort fordi man kan tenke seg at det vil være aktuelt å anvende andre brennbare produkter enn PE-skum som tunnelisolasjon. Kravene til den brennbare isolasjonen vil imidlertid være uavhengig av produkt.

#### 3.2 ISO 4589 - bestemmelse av oksygenindeks

Denne metoden er beskrevet i internasjonal standard ISO 4589 <sup>4</sup>/. Metoden går ut på å bestemme den minste konsentrasjonen av oksygen (målt i volumprosent) som vil underholde forbrenning i et lite, vertikalt prøvestykke under spesifiserte prøvingsbetingelser. Prøven er plassert i en glassbeholder der blandingsforholdet mellom oksygen og nitrogen er gitt. Prøvestykket antennes på toppen, og forbrenningstid og forbrent lengde observeres. Ved å gjenta testen og variere blandingsforholdet mellom oksygen og nitrogen, finner man hvilken oksygenkonsentrasjon som skal til for at materialet skal fortsette å brenne i det gitte forsøksoppsettet.

I henhold til ISO 4589 skal det inngå en kommentar i prøvingsrapporten som sier at

*"Prøvingsresultatene er kun relatert til prøvestykkenes oppførsel under forholdene ved denne prøvingen. Resultatene må ikke brukes til å trekke slutninger om brannrisiko for materialet i andre utforminger eller under andre brannforhold."*

Standarden sier at metoden er velegnet i forbindelse med kvalitetskontroll av produkter.

### 3.3 NS-EN ISO 11925-2 - prøving av antenlighet med liten flamme

Metoden EN-ISO 11925-2 er sentral i det nye felleseuropeiske systemet for prøving og klassifisering av materialers egenskaper ved brannpåvirkning. Metoden er også utgitt som norsk standard, og har da betegnelsen NS EN-ISO 11925-2 <sup>5/</sup>. Standarden brukes for prøving av bygningsmaterialer som grunnlag for klassifisering i Euroklassene B, C, D og E, og for klassifisering av gulvbelegg i Euroklassene B<sub>fl</sub>, C<sub>fl</sub>, D<sub>fl</sub> og E<sub>fl</sub>. Kriteriene til klassifisering er gitt i den europeiske standarden EN 13501-1, som også er utgitt som norsk standard med betegnelsen NS-EN 13501-1 <sup>6/</sup>.

#### Prinsipp for prøvingsmetoden

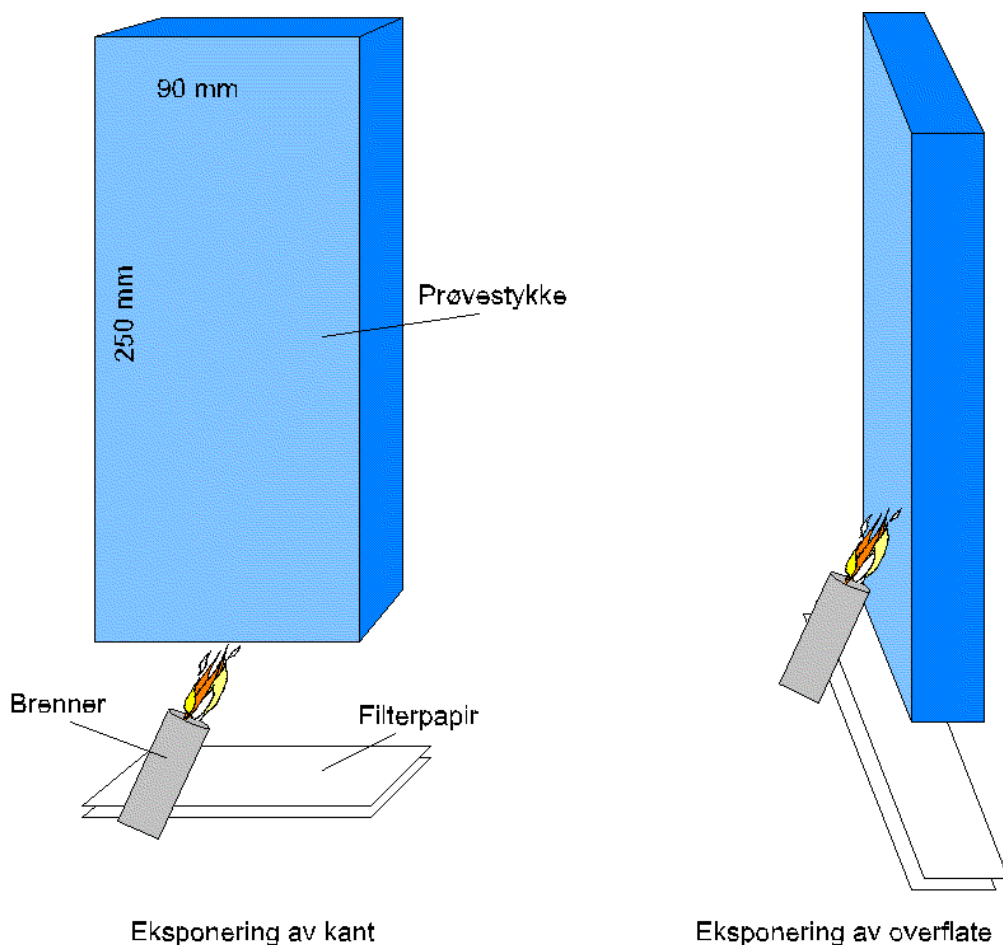
Hensikten med metoden er å bestemme antenligheten til et produkt når det eksponeres for en liten flamme uten ytterligere eksponering av varmestråling.

Prøvestykket har dimensjoner 250 mm x 90 mm, og prøves i vertikal posisjon. Det prøves tre prøvestykker i lengderetningen og tre i bredderetningen av produktet. Tennkilden er en 20 mm høy flamme fra en propanbrenner som er skråstilt med 45° i forhold til prøvestykkets overflate. Under prøvestykket er det plassert et lite kar med filterpapir.

Flammen er i kontakt med prøvestykket i 15 sekunder eller 30 sekunder, avhengig av hvilken Euroklasse det skal prøves for. Prøvestykket skal eksponeres både på overflaten og i nedre kant. For prøvestykker som smelter eller krymper vekk fra flammen, er det angitt en egen prøveprosedyre, som skal anvendes dersom myndighetene stiller krav om det.

Under prøvingen observeres om prøvestykket antennes, eventuell flammespredning, brennende dråper og antenelse av filterpapiret under prøvestykket. Antenelse er her definert som tidspunktet når det oppstår flammer som varer lengre enn 3 sekunder. Spesiell oppførsel som for eksempel smelting, delaminering, oppsprekking og krymping skal også registreres.

En enkel skisse av prøvingsapparatet er vist i Figur 3.1 under.



**Figur 3.1** Skisse av apparaturen som anvendes ved prøving i henhold til NS-EN ISO 11925-2.

Prøvsrapporten gir opplysninger om dimensjoner, forbehandling og kondisjonering av prøvestykkene, samt informasjon om montering og om betingelsene som prøvingen er utført ved. Følgende resultater skal rapporteres for hver overflate-/kantbeflamming og hver flammeeksponeringstid:

- Tid til antennelse [s]
- Om flammespissen når 150 mm ( $F_s \leq 150$  mm) og tiden det eventuelt tar [s]
- Dannelse av brennende dråper
- Antennelse av filterpapiret

Hvis spesialprosedyren for smeltende og krympende produkter er brukt, skal dette også rapporteres sammen med prøvsresultatene.

### Klassifiseringskriterier

Klassene i Tabell 3.1 under inngår i klassifikasjonssystemet (også kalt "Euroklassene") for materialers egenskaper ved brannpåvirkning ("reaction to fire") som er vedtatt av Europakommisjonen. Systemet er utarbeidet for brannteknisk klassifikasjon av produkter som omfattes av Byggeveddirektivet.

Klassene angis som A1, A2, B, C, D, E og F, med tilleggsklassifisering av røykproduksjon (s1, s2, s3) og brennende dråper (d0, d1, d2). Systemet og klassene sett i forhold til norske krav til byggematerialer er beskrevet i referanse <sup>7/</sup>.

En fullstendig dokumentasjon av klassifikasjon D eller bedre, krever prøving i henhold til to ulike standarder. Her ser vi kun på kravene til antenlighet, det vil si kravene til resultater fra prøving i henhold til NS EN-ISO 11925-2. Krav til antenlighet er satt kun for beskyttelse mot brann ved montering og lagring. Disse kravene erstatter tidligere krav til oksygenindeks.

**Tabell 3.1** Klassifisering på grunnlag av prøvingsresultater fra prøving i henhold til NS EN-ISO 11925-2, for beskyttelse ved montering og lagring. Kriteriene er gitt i NS-EN 13501-1 og her gjengitt til informasjon. (Det er tilstrekkelig å referere til NS-EN 13501-1 med krav til antenlighet i henhold til klasse D når dette benyttes til å erstatte krav til oksygenindeks.)

Klassifisering iht NS-EN 13501-1	Eksponeeringstid	Kriterier for flammespredning $F_s$	Brennende dråper
B	30 s	$F_s \leq 150$ mm innen 60 s	d0*
C	30 s	$F_s \leq 150$ mm innen 60 s	d0
D	30 s	$F_s \leq 150$ mm innen 60 s	d0
E	15 s	$F_s \leq 150$ mm innen 20 s	d0
F	Ingen krav	Ingen krav	Ingen krav

\*kriteriene til d0 er at filterpapiret under prøvestykket ikke skal antenne i løpet av prøvingen.

Legg merke til at kriteriene til antenlighet for klassene B, C og D er de samme. Et produkt som tilfredsstiller en gitt klasse vil automatisk tilfredsstille alle lavere klassifiseringer. Om et produkt tilfredsstiller kravene til klasse B-d0, er kravene til klasse C-d0, D-d0, E-d0 og F også tilfredsstilt.

### 3.4 Brannteknisk prøving av aktuelle plastisolasjonsmaterialer

#### 3.4.1 Produkter

Lvert av Skumtech:

- **Isolon standard**  
Farge lys grå, tykkelse 60 mm, målt tetthet  $38 \text{ kg/m}^3$ .
- **Isolon T** flammehemmende  
Farge lys grå, tykkelse 50 mm, målt tetthet  $38 \text{ kg/m}^3$ .
- **Trocellen** ikke flammehemmende  
Farge mørk grå, tykkelse 50 mm, målt tetthet  $28 \text{ kg/m}^3$ .
- **Trocellen** flammehemmende  
Farge mørk grå, tykkelse 70 mm, målt tetthet  $28 \text{ kg/m}^3$ . Prøven var merket med OX 25.

Levert av Sealair:

- **Stratocell FC**  
Farge hvit, tykkelse 50 mm, målt tetthet 30 kg/m<sup>3</sup>.
- **Stratocell FC/FR**  
Farge hvit, tykkelse 50 mm, målt tetthet 31 kg/m<sup>3</sup>.

Levert av Enreco AS, Stjørdal:

- **NF 3010 B1**  
Farge grå, tykkelse 10 mm, målt tetthet 31 kg/m<sup>3</sup>.
- **N 3010 B3**  
Farge mørk grå, tykkelse 10 mm, målt tetthet 29 kg/m<sup>3</sup>.
- **NFS 3011 halogen free**  
Farge lys brun, tykkelse 10 mm, målt tetthet 33 kg/m<sup>3</sup>.

Alle de prøvete produktene, bortsett fra *NFS 3011 halogen free*, anvendes i dag som frostsikring i tunneler. Dette siste produkt er under utvikling, og formålet er å komme frem til et halogenfritt alternativ til eksisterende løsninger.

### 3.4.2 Brannteknisk prøving

Oksygenindeks for alle de ni produktene ble bestemt ved prøving i henhold til ISO 4589.

Prøvingene i henhold til NS EN-ISO 11925-2 ble utført for å fastslå om produktene tilfredsstillende kravene til antennelighet for klasse B, C og D i henhold til NS EN 13501-1. Dette innebærer 30 sekunders eksponering med liten flamme, og observasjoner av resultater i 60 sekunder. Prosedyren for prøving av produkter som smelter og krymper vekk fra flammen uten å bli antent (NS EN-ISO 11925 -2, Annex A) ble ikke benyttet i disse forsøkene. Det er opp til myndighetene å kreve om denne prosedyren skal anvendes eller ikke.

For produkter som ikke besto testen, ble det ikke gjennomført prøving for klassifisering i Euroklasse E.

### 3.4.3 Resultater fra prøvingene

**Tabell 3.2** Resultater fra prøving av ulike typer brennbar plastisolasjon i henhold til NS EN-ISO 11925-2 og ISO 4589.

Produkt	NS EN-ISO 11925-2 Antennelighet			ISO 4589 Oksygenindeks
	Klassifisering	Antennelse	Brennende dråper	
Isolon Standard	B	Ja	d0	19,7
Isolon T	B	Nei	d0	26,0
Trocellen ubehandlet	Tilfredsstillende ikke klasse B	Ja	d2	18,3
Trocellen flammehemmende	B	Nei	d0	23,2
Stratocell FC	B	Ja	d0	19,0
Stratocell FC/FR	B	Nei	d0	25,4
NF 3010 B1	B	Nei	d0	25,2
N 3010 B3	Tilfredsstillende ikke klasse B	Ja	d2	18,4
NFS 3011 halogen free	B	Nei	d0	21,3

Alle produktene smeltet og trakk seg unna flammen i løpet av prøvingene.

### 3.5 Kan prøving i henhold til EN-ISO 11925-1 erstatte ISO 4589?

Resultatene i Tabell 3.2 viser at kun tre av de ni prøvete produktene har en oksygenindeks på 25% eller høyere, mens syv av ni produkter klarer kravene til antennelighet i Euroklasse B (som også innebærer at klassene C og D er tilfredsstillende med hensyn til antennelighet). Produktene som ikke klarer kravene til klasse B er de to produktene med lavest oksygenindeks. Alle produktene ble testet i den tykkelsen som er aktuell i praktisk bruk, bortsett fra *NF 3010 B1* og *N 3010 B3*. Disse to ble testet som prøvestykker med tykkelse 10 mm, mens tykkelsen av produktene i praktisk bruk vil være større. Det er rimelig å anta at prøvingsresultatene fra NS EN-ISO 11925-2 kan bli påvirket i positiv retning dersom produktene prøves i tykkere utgave enn de som er gjengitt i tabellen over. Dette skyldes at når prøvestykkene er så tynne som 10 mm, vil de raskt bli gjennombrant av den lille flammen. Gjennombranningen fører til at prøvestykket etter hvert blir eksponert av flammen på begge sider, noe som betyr en kraftig forverring av forsøksbetingelsene.

Det er såvidt NBL kjenner til ikke utarbeidet noen korrelasjon mellom verdier for oksygenindeks og resultater oppnådd i prøving etter NS EN-ISO 11925-2. Det er heller ikke rimelig å anta at det vil være noen 1:1 sammenheng mellom disse to metodene, fordi de er så ulike i forhold til viktige faktorer som geometri, ventilasjon, tennekilde, branneksporing, mengde prøvemateriale. Det er derfor mer hensiktsmessig å vurdere metodene opp mot relevante forhold i den endelige bruken av produktene. NBL mener at scenariet med liten flamme som tennekilde og ubegrenset ventilasjon vil være relevante forsøksbetingelser for å fastlegge brannsikkerheten for ubeskyttet tunnelisolasjon i drivingsfasen. Samtidig er metoden EN-ISO 11925-2 en av de felleseuropeiske metodene i det nye systemet for prøving og klassifisering av materialers egenskaper ved



brannpåvirkning som er under innføring. Dette gjør at metoden er kjent og utbredt i Europa, og utbredelsen av prøving i henhold til standarden er økende. Dokumentert prøving i henhold til EN-ISO 11925-2 vil være påkrevd for å oppnå CE-merking av en rekke byggevarer.

Sett i forhold til at NS EN-ISO 11925 er en relevant og anerkjent metode for prøving av antennelighet, vil NBL anbefale at metoden kan brukes som dokumentasjon på antenneligheten til brennbar isolasjon til bruk i vegtunneler. Det må da kreves at isolasjonen tilfredsstiller kravene til antennelighet i klasse D (det inkluderer også klassene C og B), og at produktet ikke avgir brennende dråper, det vil si at det har tilleggsklassifisering d0. Metoden gir ikke grunnlag for å bestemme røykproduksjon. Grunnen til at vi anbefaler Vegdirektoratet å kreve Euroklasse D og ikke B eller C, er at kravene til varmeavgivelse og røykproduksjon for et produkt i Euroklassene B og C er strengere enn for klasse D, mens kravene til antennelighet er de samme for disse tre klassene.

Produktene må prøves i den tykkelsen som er aktuell i endelig anvendelse som tunnelisolasjon.

#### **4. Brennbare overflater mot trafikkrommet – krav til dokumentasjon og akseptkriterier**

Med brennbare overflater mot trafikkrommet menes den tunneloverflaten som vender inn mot veibanen. Overflater er det ytterste sjiktet og kan være en del av konstruksjonsmaterialet eller ytre påførte overflater som overflatebehandling, slik som for eksempel maling.

Ved dokumentasjon av overflatebehandling, er brannegenskapene svært avhenging av tykkelsen av overflatebehandlingen og underlaget. Derfor må normalt produktene testes i samme utførelse som skal benyttes i et trafikkrom. Ved avvik fra dette, er det nødvendig med brannteknisk vurdering eller en ny brannteknisk prøving.

I denne delen av prosjektarbeidet er utkast til kapittel 5 "Dimensjonering for brann" i Håndbok 163 gjennomgått. Nødvendige vurderinger og endringer er foretatt, og det reviderte kapittelet i håndboken er vedlagt i Vedlegg A.

## **5. Betongkvaliteter – motstand mot avskalling ved brannpåkjenning**

### **5.1 Funksjonskrav**

Brannprøving av konstruksjonselementer bygget opp av brennbar isolasjon med en eller annen form for brannbeskyttelse, er ment å være en funksjonstest av brannbeskyttelsen. Hensikten med denne funksjonstesten er å dokumentere at brannbeskyttelsen hindrer antennelse av den brennbare isolasjonen (vann- og frostsikringsmateriale).

Generelt skal man søke å unngå bruk av brennbare materialer der det finnes akseptable erstatninger. Hvis det ikke kan unngås å benytte brennbar isolasjon, er brannbeskyttelse en hovedparameter. Brannbeskyttelsen skal holdes intakt under forløpet av branntesten, og ikke bli ødelagt, f. eks. på grunn av betongavskalling.

Dersom betongen etter brannprøvingen er intakt uten avskalling eller gjennomgående sprekker, vil varmekapasitet og isolasjonsegenskaper for et betongsjikt på 60-70 mm være tilstrekkelig til å beskytte bakenforliggende brennbar isolasjon mot en dimensjonerende brann.

Dimensjonerende brann er i dette tilfellet brann i en personbil plassert inntil tunnelveggen, som NBL anslår til å avgi en konstant effekt på 5 MW i 45 minutter.

### **5.2 Erfaringer fra brannprøvinger**

NBL har gjennom flere år utført brannprøvinger på konstruksjonselementer i form av bjelker eller plater. Dette har for en stor del vært brannprøvinger for dokumentasjon av brannmotstand for høyfast og tett betong for bruk offshore. En rekke kvaliteter er testet med ulike tilslagsmaterialer, tilsetningsstoffer og armeringsutførelse <sup>8,9,10</sup>. I tillegg er ulike materialer for passiv brannbeskyttelse av den konstruktive betongen prøvet.

Erfaringene fra disse testene er at høyfast og tett betong er spesielt utsatt for avskalling fra betongoverflaten ved brannpåkjenning. Dette skyldes at det etableres et damptrykk inne i betongen som sprenger av større eller mindre stykker av betongen.

Det vil alltid være fuktighet nok i betongen til at det vil kunne etableres et kritisk poretrykk ved brannpåkjenning. Brannprøving av en 7 år gammel uttørket betongbjelke fikk samme eksplosive avskalling som yngre prøvestykker.

Nylig rapporterte branntester fra Sveriges Forsknings- og Provningsinstitut (SP) <sup>11</sup> viser at tilsats av polypropylenfiber (PP-fiber) kan ha en positiv innvirkning på grad av avskalling fra brannpåkjent betong. Disse testene var imidlertid utført på en annen type betong og en annen geometri enn det som her vil være aktuelt. Det anvendte fibermaterialet er kun angitt som ”plastic fibre” i mengder henholdsvis 2 og 4 kg/m<sup>3</sup>.

Tiltak for å unngå avskalling er å

- sikre at damptrykket kan avlastes gjennom betongtverrsnittet via et åpent poresystem (forutsetter at poresystemet er åpent i brannsituasjonen)
- redusere temperaturgradienten over ytre betongtverrsnitt ved påføring av passiv brannbeskyttelse, dette reduserer det innvendige poretrykket

I <sup>12/</sup> angis følgende tiltak for å bedre brannmotstand for betong:

- bruk tilslagsmaterialer med normal romvekt for å redusere risiko for avskalling
- tilsett polypropylenfiber for å redusere risiko for avskalling
- tilsett stålfiber for å øke strekkfasthet og redusere risiko for avskalling
- bruk kalkholdig framfor kvartsholdig tilslag for å redusere risiko for avskalling
- ta spesielle hensyn med tanke på risiko for avskalling når betongfastheten overskrider 55 MPa

Brannprøvinger viser at dersom brannutsatt betongkonstruksjon påføres et isolerende sjikt med et brannbeskyttelsesmateriale (anslagsvis 20mm er tilstrekkelig), vil dette helt kunne hindre betongavskalling, forutsatt at brannbeskyttelsen holdes intakt under hele branneeksponeringen. Flere typer sprøytebasert brannbeskyttelse er brannprøvet.

I en litteraturstudie gjennomført innenfor et delprosjekt i forskningsprogrammet "Lightcon" utført i 1997 <sup>13/</sup>, er branntekniske egenskaper for betong med PP-tilsetning undersøkt.. Hensikten med tilsetning av polypropylenfiber (PP) er å øke betongens permeabilitet under brann. Fibrene smelter under varmpåvirkning, og bidrar til å lage åpne porekanaler som hindrer oppbygging av poretrykk. Ved tilsetning av 0,1 – 0,25 volum% PP-fiber, ble det påvist signifikante reduksjoner i avskalling. Avskallingen ser ut til å avta når tykkelsen av PP-fibrene reduseres og når lengde og dosering økes. Branntester viser at det er mulig å tilnærmet eliminere avskallingsfaren ved tilsetning av rett type og rett dosering PP-fiber.

### 5.3 Betong – egenskaper ved brannpåkjenning

Betong er i denne sammenheng sprøytebasert eller prefabrikkerte elementer som skal beskytte bakenforliggende brennbar frostsikringsisolasjon.

En relevant egenskap er i denne sammenheng betongens (i aktuell utførelse) evne til å motstå brannpåkjenning uten mekanisk ødeleggelse. Andre egenskaper som varmekapasitet og isolasjonsegenskaper er i denne sammenheng mindre interessant, da et sjikt på 60-70 mm med konstruksjonsbetong (styrkekrav for å motstå påkjørsel) vil være tilstrekkelig til å beskytte bakenforliggende brennbar isolasjon mot en dimensjonerende brann, forutsatt at betongen er intakt under hele brannforløpet.

Motstand mot mekanisk ødeleggelse er sett i forhold til brannpåkjenning, det vil si motstand mot betongavskalling (eng. *spalling*). Betongavskalling er definert som avflaking eller avsprenget av lag eller biter av betong fra overflaten av en betongkonstruksjon når den utsettes for høye og hurtig stigende temperaturer som kan inntreffe i en brannsituasjon. Konsekvensene kan være ubetydelige når omfanget av skadene er små, eller langt alvorligere med tidlig tap av tverrsnitt og

eventuelt gjennomhulling. En tverrsnittsreduksjon eller gjennomhulling av betongsjiktet vil ha direkte innvirkning på betongsjiktets evne til å beskytte bakenforliggende brennbart materiale.

Den klart alvorligste formen for betongavskalling er den eksplosive avflakingen av store eller små biter som kan inntreffe allerede få minutter etter første brannpåkjenning.

Hovedårsaken til avskalling er at det bygges opp høye damptrykk nær betongoverflaten. Temperaturgradienten over ytre tverrsnitt driver det frie vannet i betongen innover. I tett betong hindres denne inntrengningen og damptrykket blir større enn strekkfastheten for betongen. Parametre som har betydning er: permeabilitet, varmeledningsevne, fuktinnhold, spenningsnivå i betongen (forspenning) samt intensitet av brannpåkjenningen.

Det er ofte et motsetningsforhold mellom det å lage en god konstruksjonsbetong med høy fasthet/seighet og lav permeabilitet (tett betong), og en betong med gode branntekniske egenskaper. Det har derfor vært fokusert på tiltak som skal bedre betongens brannmotstand uten å endre de ønskede konstruktive egenskapene.

Brannprøvinger har vist at konstruktive tiltak som finmasket armeringsnett, bøyler og geometriske utforminger har liten eller ingen innvirkning dersom betongkvaliteten i utgangspunktet er ”disponert for” avskalling.

Med bakgrunn i mekanismene som forårsaker betongavskalling har en derfor forsøkt med ulike tilsetningsstoffer til betongen som skal endre betongegenskapene når den utsettes for en brannpåkjenning. Et slikt tiltak som har vist seg å fungere i branntest, er tilsetning av organiske fiber (PP – polypropylen) i den ferske betongen. En forutsetning er at fibre blandes og fordeles i betongtverrsnittet. Hensikten med disse fibre er at de i normaltilstanden opprettholder en tett og høyfast betong, men at de ved brannpåkjenning smelter og lager en åpen porestruktur i det brannpåkjennte betongtverrsnittet. Denne åpne porestrukturen skal da være i stand til å evakuere poretrykket som bygges opp.

Flere fibertyper er tilgjengelig på markedet (se tabell 5.1)

**Tabell 5.1** Ulike typer polypropylenfiber for tilsetning til betong

Fiber	Type	Produsent	Referanse
<b>Grace Structural Fibres (GSF)</b>	Monofilament Synthetic Fibres	Grace Construction Products Ltd, 852 Birchwood Boulevard, Birchwood, Warrington WA3 7QZ, Cheshire, UK,	<a href="http://www.graceconstruction.com">www.graceconstruction.com</a>
<b>Fibrin Crackstop</b>	Polypropylene Fibres	Fibrin (Humberside) Ltd, Borwick Drive, Grovehill, Beverley, East Yorkshire HU17 0HQ, UK,	<a href="http://www.adfil.co.uk">www.adfil.co.uk</a>
<b>BARCHIP 'M' HT 48MM</b>	Synthetic Fibre	EPC Europe	<a href="http://www.elastoplastic.com/barchip4.htm">http://www.elastoplastic.com/barchip4.htm</a>
<b>FiberMesh ® Harbourite®</b>	polypropylen fiber	SI Corporation, 6025 Lee Highway, Suite 413, Chattanooga, TN. 37421, US.	<a href="http://www.fibermesh.com/">http://www.fibermesh.com/</a>

Dosering for FiberMesh oppgis til størrelsesorden 0,9 kg/m<sup>3</sup> betong (1.5lb/cuyd). Fibertype (type og lengde) og riktig dosering må verifiseres ved brannprøving for aktuell anvendelse.

I forsøkene ved SP /4/ ble det benyttet 2 kg/m<sup>3</sup> og 4 kg/m<sup>3</sup> fibertilsetning.

I beskrivelsene fra Adfil opplyses det:

*Adfil fibres within a cement matrix will melt at approximately 154°C creating millions of voids, allowing for the dispersal of moisture within the matrix when subjected to high temperatures. This will significantly reduce explosive spalling. In fact, of all the tests completed to date, spalling has been eliminated.*

*Tests have shown that the use of our Crackstop fibres significantly improves the fire resistance characteristics of concrete. Independent tests show that our monofilament fibres have a higher resistance bending after being subjected to 600 degrees centigrade temperatures for one hour. The inclusion of our fibres improves the spalling resistance of concrete when subjected to temperatures and tested in accordance to BS 476. Tests recently conducted by Rail Link Engineering to this standard came to the following conclusion; "The addition of polypropylene fibres gave the most significant indication of improved fire resistance throughout the test program, with particularly monofilament fibre mixes showing no indication of spalling."*

Brannprøving i henhold til britisk standard BS 476 gir her samme brannpåkjenning som benyttes i Vegdirektoratets funksjonstest.

Stålfiber vil ikke ha samme effekt siden det ikke vil bli etablert en åpen porestruktur ved brannpåkjenning.

## 5.4 Passiv brannbeskyttelse av betong

Erfaringer fra branntester utført ved NBL har videre vist at et begrenset sjikt av isolerende masse (f.eks. perlite-betong) på overflaten av betong vil kunne hindre betongavskalling. En brannbeskyttelse bygget opp av et sjikt sprøytet konstruksjonsbetong + et tynnere sjikt isolerende porøs betong, vil samlet kunne motstå både mekaniske påkjenninger (kollisjon) og brannpåkjenning.

*ROBOTIC 10* er en type perlite-betong som er testet som brannbeskyttelse på betongkonstruksjoner. Testene viser at armering av perlite-betongen med stålfiber kan være påkrevet for å sikre at brannbeskyttelsen i seg selv ikke ødelegges mekanisk ved brannpåkjenningen.

I prinsippet vil de fleste brannbeskyttelsesmaterialer som normalt benyttes ved passiv brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner, også kunne fungere som beskyttelse av betong, dvs. de fleste sprøytbare produkter og platematerialer vil være aktuelle. Det vil ved valg av system normalt være andre utvalgsparametre som pris, tilgjengelighet, sprøytbarhet, vaskbarhet, bestandighet etc. som er avgjørende.

Et sprøytebasert materiale vil uansett være gunstig med hensyn til installasjonstid og heft. Sprøyting på en allerede ru overflate vil sikre god vedheft til underlaget.

## 5.5 Forslag til testprogram

### 5.5.1 Funksjonstesting

Før eventuell brannprøving må alle andre relevante egenskaper være utprøvet og dokumentert:

- Sprøytbarhet: Betongen med de aktuelle tilsetninger (fiber) må kunne blandes til en tilnærmet homogen masse, og må kunne sprøytes med tilgjengelig sprøyteutstyr og med ønsket fremdrift.
- Mekanisk motstand: Betongen må ha den foreskrevne konstruksjonsfasthet og mekaniske motstandsevne i brukstilstanden.
- Bestandighet: Den ferdig herdete betongen må ha ønsket bestandighet.

### 5.5.2 Brannprøving

Når ønskede konstruksjonsegenskaper er oppnådd, kan ferdige løsninger brannprøves mot Vertikalovnen.

#### Fiberarmert betong:

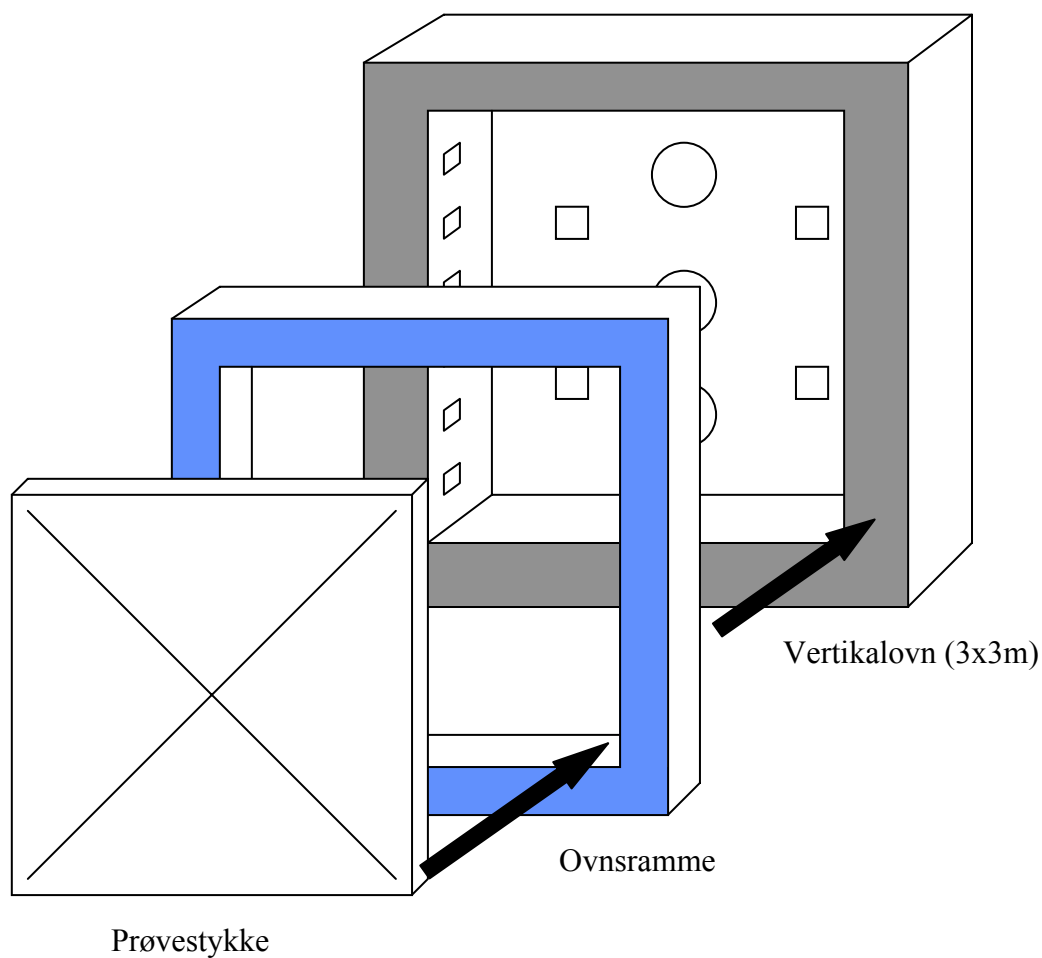
Konstruksjonselementer som er representative for en endelig utførelse, produseres med en utførelsesmetode tilsvarende normal praksis. I stedet for brennbar isolasjon, kan det i prøvestykket benyttes et ubrennbart isolasjonsmateriale. Varmeledningsegenskapene til erstatningsproduktet må tilsvare den brennbare isolasjonen som skal anvendes i tunnelkonstruksjonen.

Det er ønskelig å utelate brennbar isolasjon fra prøvingselementet for å unngå antennelse dersom betongen får kraftig avskalling i branntesten.

#### Brannbeskyttet betong:

En plate av sprøytet konstruksjonsbetong (uten isolasjon) påføres et sjikt brannbeskyttelse på eksponert side. Denne testen skal dokumentere brannbeskyttelsens evne til å hindre avskalling fra konstruksjonsbetongen.

Figur 5.1 viser prinsippet for brannprøving.



---

### Dimensjoner

Prøvestykke: 3000x3000mm (wxh)

Innspenningsramme IMO (Lysåpning): 3120x3120mm (wxh)

Innspenningsramme land (Lysåpning): 3030x3030mm (wxh)

Vertikalovn (Innvendige dimensjoner): 3060x3060x1200mm (wxhxd)

**Figur 5.1** *Brannprøving mot Vertikalovnen ved Norges branntekniske laboratorium as.*



## 6. Brannbeskyttelse ved driving

Et viktig aspekt ved bruk av brennbar tunnelisolasjon, er materialhåndtering/lagring i forbindelse med isolasjonsarbeidet. Her vil enkelte kritiske forhold evalueres. Dette vil være grunnlag for utarbeidelse av særskilte retningslinjer mht. brannsikkerhet.

### 6.1 Krav til personell

For alt personell som skal delta i arbeidsoperasjoner ved tunneldriving, er det nødvendig med et visst kunnskapsnivå om brann, brannforebygging og tiltak ved brann. Dette gjelder både personell som deltar i isolasjonsarbeid, betongarbeid, materialhåndtering, samt sjåfører og andre som driver arbeid parallelt med montasje av brennbar isolasjon. etc.

Konsekvensene ved branntilløp i tunnel kan være så store at det vil være relevant å stille krav til alt personell som oppholder seg i tunnel under slikt arbeid.

Til sammenlikning kan en henvise til de krav som i dag gjelder for personell som skal utføre varme arbeider, så som skjæring, kutting sveising og arbeid med åpen flamme f.eks. ved takarbeider <sup>14</sup>. For å kunne utføre slikt arbeid kreves opplæring, kurs og sertifisering, nettopp for at personellet skal være i stand til selv å vurdere risiko, risikoreduksjon, riktig arbeidsmetodikk og tiltak ved branntilløp.

Aktuelle krav kan være:

- Alle bør ha et minimum av opplæring, f.eks. gjennomgang av brosjyremateriell og/eller informasjonsmøter før arbeid igangsettes.
- Personell som behandler brennbar isolasjon må få særskilt opplæring i brannforebygging og tiltak ved brann.
- All form for opplæring må dokumenteres og gjentas ved lang tid mellom hver gang en utfører arbeid i tunnelprosjekter.

### 6.2 Håndtering av brennbart materiale

I denne sammenheng er det fokusert spesielt på brennbar isolasjon i form av vann- og frostsikringsmaterialer. Imidlertid må en være varsom ved behandling av alle brennbare materialer i forbindelse med tunneldriving.

Et branntilløp i andre brennbare materialer kan, dersom brannen får utvikle seg fritt, spre seg til større mengder ubeskyttet brennbar isolasjon som er ferdig montert eller oppbevart i tunnelen. En hovedforutsetning må være at lagring og montasje av brennbar isolasjon i tunnelen ikke skal

påbegynnes før en har oppnådd gjennomslag, og at tunnelen er kjørbare i begge retninger. Eksempler på spørsmål en må ta stilling til:

- **Brennbar væske:** Vi forutsetter at det finnes retningslinjer/regler for oppbevaring og håndtering av brennbar væske (drivstoff), og at disse følges.
- **Lagring:** Mengde og lagringsform må vurderes med utgangspunkt i dagens praksis. Mengde brennbar isolasjon som tillates oppbevart utildekket (brannbeskyttet med betong) i tunnelen må vurderes. Den bør ikke overskride mengden materiale som benyttes av et arbeidsskift.
- **Lagringsform:** Brennbar isolasjon bør lagres så kompakt som mulig, med minst mulig overflate som kan utsettes for tennkilder, og i sikker avstand fra potensielle tennkilder. Hensiktsmessig lagringsform må ses i sammenheng med aktuell praksis.
- **Ubeskyttet installert brennbar isolasjon:** Hensiktsmessig montasje av vann- og frostsikringsisolasjon forutsetter en viss grad av kontinuitet i arbeidet, dvs. montørene må kunne isolere uhindret i tunnelens lengderetning. Likevel, jo lenger strekning en har av ubeskyttet isolasjon, jo større eksponert flate, og jo større risiko for antennelse. Det er derfor nærliggende å stille krav til maksimal lengde frilagt isolasjon (dvs. et maksimalareal). Dette må ses i sammenheng med driftsform, dvs. om montasje og brannbeskyttelse er parallelle operasjoner. Det skal ikke legges ubeskyttet brennbar isolasjon over flere arbeidsskift, uten at de brennbare overflatene sikres mot brann.
- **Logistikk:** Før arbeidet settes igang, bør en tenke gjennom hvor det er hensiktsmessig å mellomlagre isolasjonsproduktene for å få en sikrest mulig oppbevaring, mellomlagring og transport inn til montasjestedet.

### 6.3 Kontroll med tennkilder

En fullstendig oversikt over potensielle tennkilder ved håndtering og arbeid med brennbare materialer generelt må utarbeides. Dette er et arbeid som må utføres av ansvarlige for isolasjonsarbeidet. Dette kan inngå i en sikker jobbanalyse som ligger innenfor HMS-krav.

Det er vesentlig at en har kontroll med at potensielle tennkilder ikke kommer i kontakt med brennbar isolasjon.

På generell basis kan potensielle tennkilder være så som:

- Kjøretøyer (motor, bremses, drivstofftanker)
- Elektrisk utstyr (koblingspunkter, høyeffekt lyskastere)
- Varme overflater (varmekilder, eksosmanifolder)
- Aggregater
- Varme arbeider (sveising, skjæring, kutting, åpen flamme)
- Menneskelig adferd (røyking, åpen ild)

Ved identifisering av potensielle tennkilder er det viktig å vurdere tiltak for å redusere antennelsesrisiko, samt å vurdere mulige alternativer med redusert risiko.

## 6.4 Prosedyrer ved montering av brennbar isolasjon

Et hovedprinsipp må være at en så langt det er mulig skal unngå kombinasjonen av brennbar isolasjon og varmt arbeid. Dette gjelder både ved lagring, håndtering og montasje av brennbar isolasjon. Hvis en likevel må utføre varme arbeider nær eller i tilknytning til brennbar isolasjon, må en innføre sikringstiltak.

## 6.5 Sikring og slukkeutstyr

- **Tildekking:** For å unngå antennelse av brennbar isolasjon, må den tildekkes og isoleres med ubrennbare materialer dersom tennkilder eller åpen ild håndteres nær brennbar overflate.
- **Slokkemidler:** Det skal alltid være tilgjengelig egnet slokkemiddel i tilstrekkelig mengde i umiddelbar nærhet av der brann kan oppstå. Eksempler på egnet slukkeutstyr er:
  - min. 2 stk 6 kilos pulverapparat der varme arbeider utføres
  - min. 1 stk 6 kilos pulverapparat i/på alle kjøretøyer
  - min. 1 stk 6 kilos pulverapparat ved alle kritiske tennkilder (aggregater etc.)
  - min. 1 stk 6 kilos pulverapparat ved alle lager av brennbar isolasjon

6 kilos pulverapparat kan eventuelt erstattes med brannslange med tilfredsstillende forsyning av trykkvann.

- **Brannvakt:** Ved alle arbeider som faller inn under begrepet varme arbeider, eller ved arbeid som medfører risiko for antennelse av brennbar isolasjon, skal det etableres brannvakt, dvs. en eller flere personer med særskilt oppgave å hindre og slukke eventuelle branntilløp. Brannvakt skal ha slokkemidler i umiddelbar nærhet.

## 6.6 Tiltak ved brann

En del av den opplæringen som skal gis til personell som deltar i tunneldrift og montasje av brennbar isolasjon vedrører, i tillegg til å identifisere brannrisiko og utøve forebyggende arbeid, også tiltak ved eventuelle branntilløp.

- **Slokke:** Tilløp til brann skal så raskt som mulig søkes slokket med tilgjengelig slokkemateriell.
- **Varsle:** Arbeidsleder og øvrig personell varsles som situasjonen. Første varsling gjøres ved å rope BRANN, og/eller ved varsling på tilgjengelig kommunikasjons- eller varslingsutstyr. En må forsikre seg om at melding er mottatt, og at den formidles videre. (Metoden for varsling må ta hensyn til støy og andre forhold som kan påvirke varslingen)
- **Evakuere:** Dersom situasjonen kommer ut av kontroll, dvs. en klarer ikke å slukke/begrense branntilløpet med tilgjengelig slokkemateriell, må området/tunnelen evakueres.

Behovet for tilgjengelig fluktbil med nøkkel i tenningslås, og behovet for nødbelysning (hjelmykt/lommelykt) må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

## **7. Detaljer ved utførelse av brannbeskyttelse**

### **7.1 Generelt**

Det er vesentlig at alle detaljer der brennbar isolasjon benyttes har den nødvendige brannmotstand. Dette gjelder spesielt i tverrslag mellom forskjellige løp og utsparinger for dører og lignende. Hulrom der det benyttes brennbar isolasjon, skal utføres som egen brannseksjon, der man unngår mulige tennkilder. Det skal unngås å legge kabler i hulrommet, eventuelle forbindelser til tverrslag og tekniske rom skal brannseksjoneres enten i henhold til krav gitt i figur 5.1, eller med brannmotstand tilsvarende A60 (iht. NS 3919).

Tekniske rom må også betraktes som egne brannceller, og være atskilt fra tverrslag (rømningsvei) og hulrom med brennbar isolasjon.

### **7.2 Avslutning ved avbrudd av brennbar isolasjon mot fjell**

I Håndbok 163 er det i Figur 5.2 skissert hvordan en utfører brannteknisk oppdeling av brennbar isolasjon i tunnelens lengderetning. Figuren skisserer utførelse av "brannmur" ved "våt løsning" (der det er behov for kontinuerlig frostsikring), og "tørr løsning" der legging av brennbar isolasjon avsluttes mot fjell for deretter å påbegynnes igjen etter et definert opphold.

Det som er viktig er at avslutning av brannbeskyttelsen (sprøytebetongen) har mist samme minimumstykkelse over avslutningen som ellers på isolasjonsflaten.

Hvor lange strekninger som aksepteres mellom hver "brannvegg" må vurderes særskilt. Strekningene bør være så korte som mulig, men tilpasses til en praktisk gjennomførbar løsning. Et forslag kan være 250 m for tunneler i alle klasser.

### **7.3 Detalj ved tunnelinnløp**

Ved tunnelinnløp er det viktig at avslutning/begynnelsen av brannbeskyttelsen (sprøytebetongen) har minst samme minimumstykkelse som ellers på isolasjonsflaten.

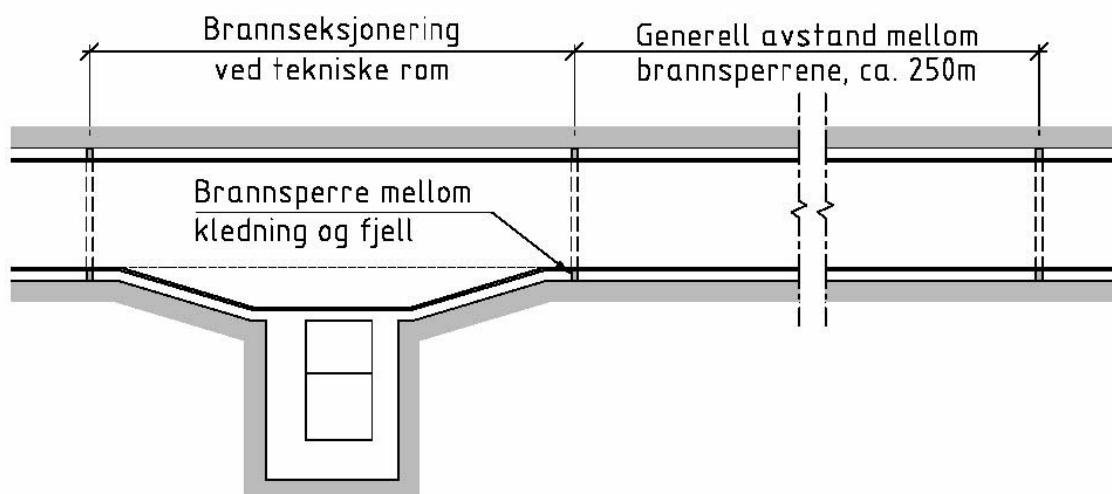
### **7.4 Tverrslag mellom toløps-tunnel.**

Der det fra tunnelens hovedløp er tverrslag over i et parallelt tunnelløp med dører i hver ende (rømningsvei), er det viktig at brannbeskyttelsen avsluttes, slik at den brennbare isolasjonen er "forseglet" mot fjell. Det må ikke være mulighet for at en brann i isolasjonen bak sprøytebetongen kan spre brann og røykgasser inn i tverrslaget. Detaljutførelse rundt dører må derfor detaljprosjekteres både med tanke på å hindre røykspredning til tverrslag/rømningsvei fra brann i isolasjonsmaterialet bak brannbeskyttelsen, og for å hindre at brann ved dør fører til antennelse av isolasjonen.

Det er viktig med en lufttett forbindelse, fordi røyk kan spres fra brann i isolasjonen bak sprøytebetongen langt borte fra tverrslaget/rømningstunnelen, da det ofte er store åpne volumer mellom betong og fjell.

## 7.5 Utførelse av avkjørsler og lommer

Også ved avslutning mot avkjørsler og lommer i tunnel er det viktig at avslutning av brannbeskyttelsen forbi brennbar isolasjon inn mot fjell er tilfredsstillende utført. En prinsipp skisse er vist i figur 7.1.



Figur 7.1 *Prinsippskisse for brannseksjonering ved teknisk rom.*

## 7.6 Gjennomføringer og vertikale sjakter

Der installasjoner (kabler, kanaler, rør etc.) føres gjennom brannbeskyttelsen og inn gjennom brennbar isolasjon må en sikre at dette ikke medfører svekkelse og risiko for at isolasjonen kan antenne som følge av en brann i nærheten av gjennomføringen. Kabler skal normalt ikke føres i hulrommet sammen med brennbar isolasjon uten at de brannseksjoneres med brannmotstand tilsvarende A60 i henhold til NS 3919

## **REFERANSER**

## Vedlegg A: Revidert utkast til kapittel 5 i Håndbok 163

### 5 DIMENSJONERING FOR BRANN

#### 5.1 Generelle krav

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 mens bilbrannen pågår.

#### 5.2 Brannteknisk dokumentasjon og prosedyrer for testing

For å sikre at de generelle funksjonskravene oppnås, kan følgende framgangsmåte for testing benyttes.

Nye produkter som skal evalueres i forhold til branntekniske egenskaper skal testes iht. følgende prosedyrer (også skissert i figur 5.1.):

##### 5.2.1 Ved usikkerhet om brennbarhet

*Dersom det er usikkert om materialet er brennbart eller ikke, testes materialet for ubrennbarhet i henhold til ISO 1182 "Fire tests - Building materials - Non-combustibility test".*

Hvis produktet her blir klassifisert som ubrennbart, er det ikke behov for ytterligere brannteknisk dokumentasjon av antennelighet, varme- og røykutvikling.

Dersom produktet blir klassifisert som brennbart, kan produktet testes iht. pkt. 5.2.2.

##### 5.2.2 Ved dokumentasjon av brennbare overflater mot trafikkrommet

For brennbare overflater mot trafikkrommet skal testing og dokumentasjon gjennomføres iht. ISO 9705 "Fire tests - Full-scale room test for surface products".

Overflater inkluderer overflatebehandling slik som for eksempel maling og liknede. Ved testing av overflatebehandling, skal den påføres i den tykkelse og på det underlag produktet skal dokumenteres for.

Akseptkriterier for bruk i vegtunneler er gitt i Vedlegg C.

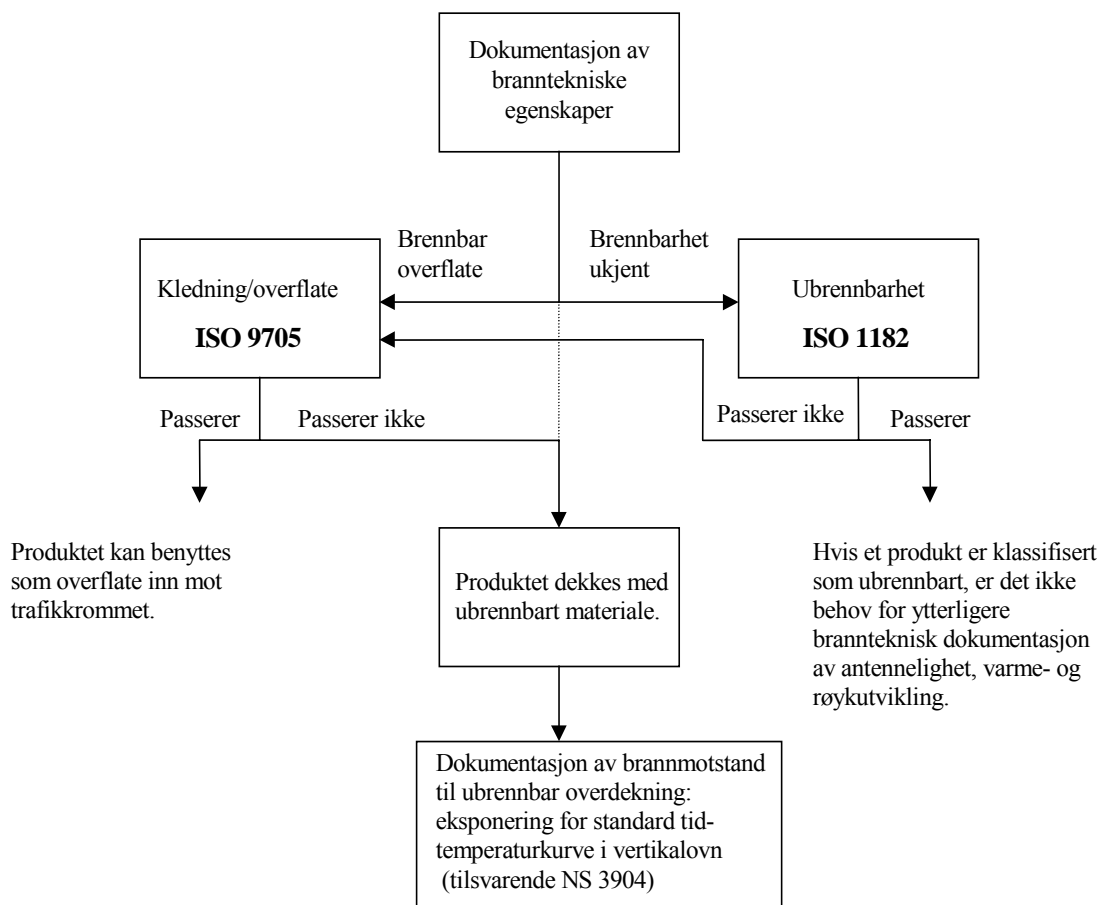
Dersom et produkt ikke klarer akseptkriteriene for ISO 9705, må materialet brannbeskyttes og testes iht. pkt. 5.2.3.

##### 5.2.3 Ved dokumentasjon av brannbeskyttelse på brennbare produkter

Brannmotstand for overdekning av brennbare produkter skal testes i vertikalovn med eksponering for standard tid-temperaturkurve tilsvarende NS 3904.

Akseptkriterier for bruk i vegtunneler er gitt i Vedlegg C.

Dersom produktet ikke passerer, må det eventuelt tilleggsbeskyttes og testes på nytt.



**Figur 5.1** Diagram for dokumentasjon av branntekniske egenskaper for konstruksjoner benyttet i tunneler.

For byggeløsninger der brennbar isolasjon / brennbart materiale ender i hulrom mellom berg og konstruksjon, må konsekvensen av en eventuell brann i dette området vurderes, og det vil være naturlig å seksjonere slike rom.

Se for øvrig vedlegg C.

### 5.3 Sikring av brennbare materialer

Brennbare materialer som benyttes til overflater mot trafikkrommet, (f.eks. PE-skum) skal tilfredsstillere kravene gitt i avsnitt 5.2 og figur 5.1.

Brennbar isolasjon skal tilfredsstillere kriteriene til antennelighet for klasse D ved prøving i henhold til NS-EN ISO 11925-2. Akseptkriteriene er angitt i NS-EN 13501-1. For laminerte plater gjelder dette alle lag.

Det skal utarbeides sikkerhetsrutiner ved montering og lagring i anleggsperioden.

Seksjonslengde for ubeskyttet brennbar isolasjon settes til ca. 100 meter mellom hver seksjon før påføring av brannbeskyttelse. Ev. økt seksjonslengde av ubeskyttet brennbar isolasjon krever sikker jobbanalyse/HMS-vurdering, og spesiell søknad.

De kvalitetskrav som er stilt for materialet (tykkelse, avdamping av eventuelle drivgasser, oksygenindeks etc.) skal kontrolleres på leveranser til byggeplassen.

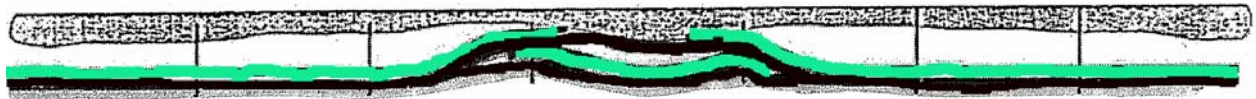


Ved lange sammenhengende strekninger med brannsikret brennbar materiale, skal det seksjoneres til fjell ca. hver 250 m. Avstanden kan tilpasses slik at seksjoneringen utføres på mest hensiktsmessig plass. Tekniske rom, tverrslag, dører til rømningsveier, gjennomføringer etc må skjermes spesielt. En prinsippskisse er vist i figur 5.2.

**Prinsippskisse seksjonering av PE-skum**

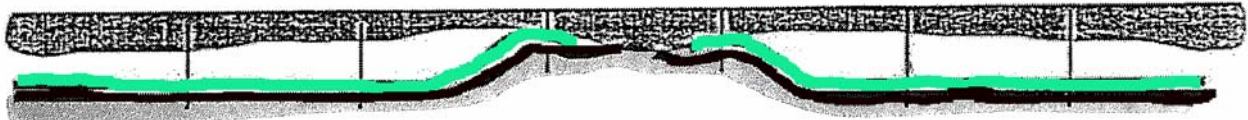


**Våt Løsning:**



"Brannmur"

**Tørr Løsning:**



Sprutbetongen har tykkelse 70 mm ± 10 mm.

Stigebånd mellom bolter i avslutning mot fjell.  
Overlappsplate utføres som hvelv forøvrig med armeringsnett osv.

Figur 5.2: *Prinsippskisse på løsning av seksjonering mot fjell.*

#### 5.4 *Brannbeskyttelse*

Metoder for brannbeskyttelse av brennbar isolasjon skal være dokumentert i henhold til avsnitt 5.2 eller i spesielle tilfeller beregnes. Dette kan for eksempel være dersom en beskyttelsesmetode kan dokumenteres termisk stabil. I slike tilfeller kan det vurderes å ekstrapolere/interpolere verdiene for brannmotstand (isolasjonsevne).

Brannbeskyttelsen kan bestå av ett homogent materiale som kombinerer mekanisk styrke og brannbeskyttelsesevne, eller av flere materialer med ulike egenskaper og med nødvendig heft mellom materialene.

Aktuelle løsninger kan være:

- Betong (støpt eller sprøytet) som inneholder finfordelte polypropylen-fiber (PP-fiber). Type og dosering av PP-fiber skal være dokumentert å oppfylle kravene til brannmotstand for betongmaterialet.
- • Betong (støpt eller sprøytet) påført et brannbeskyttende sjikt av godkjent termisk stabil lettbetong. Minimum tykkelse for brannbeskyttende sjikt skal være minst den tykkelse som er dokumentert å gi tilfredsstillende brannbeskyttelse, men ikke mindre enn 20 mm.

Løsningene skal være godkjent av Vegdirektoratet.

## VEDLEGG C: Dokumentasjon av brannegenskaper

Nye produkter som skal evalueres i forhold til branntekniske egenskaper skal testes iht. følgende prosedyrer (også skissert i figur C1.):

1. *Dersom det er usikkert om materialet er brennbart eller ikke, testes det for ubrennbarhet iht. ISO 1182 "Fire tests - Building materials - Non-combustibility test".*

Hvis produktet her blir klassifisert som ubrennbart, er det ikke behov for ytterligere brannteknisk dokumentasjon av antennelighet, varme- og røykutvikling.

Dersom det er kjent at produktet er brennbart, eller ikke passerer testen iht ISO 1182, kan produktet testes iht. pkt. 2 under.

2. For brennbare materialer som benyttes til overflater mot trafikkrommet skal testing og dokumentasjon gjennomføres iht. ISO 9705 "Fire tests - Full-scale room test for surface products".

Akseptkriterier for bruk i vegtunneler er gitt i tabell C1.

Tabell C1 Akseptkriterier for de enkelte tunnelklasser ved testing i henhold til ISO 9705

Kriterier for resultater fra brannprøving	Tunnelklasser					
	A	B	C	D	E	F
Tid til overtenning [min]	20	20	20	20	20	20
Gjennomsnittlig maksimal varmeavgivelse over en 30 sekunders periode [kW]	500	500	300	300	300	300
Gjennomsnittlig varmeavgivelse (fra produktet) [kW]	100	100	50	50	50	50
Gjennomsnittlig maksimal røykproduksjon over en 60 sekunders periode [m <sup>2</sup> /s]	2,3 8,3 <sup>(*)</sup>	2,3 8,3 <sup>(*)</sup>	2,3	2,3	2,3	2,3
Gjennomsnittlig røykproduksjon [m <sup>2</sup> /s]	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,7

<sup>(\*)</sup> **Kravet til maksimal røykproduksjon kan endres ved installering av brannventilasjon, minimum 2 m/s for tunnelklasse A og B**

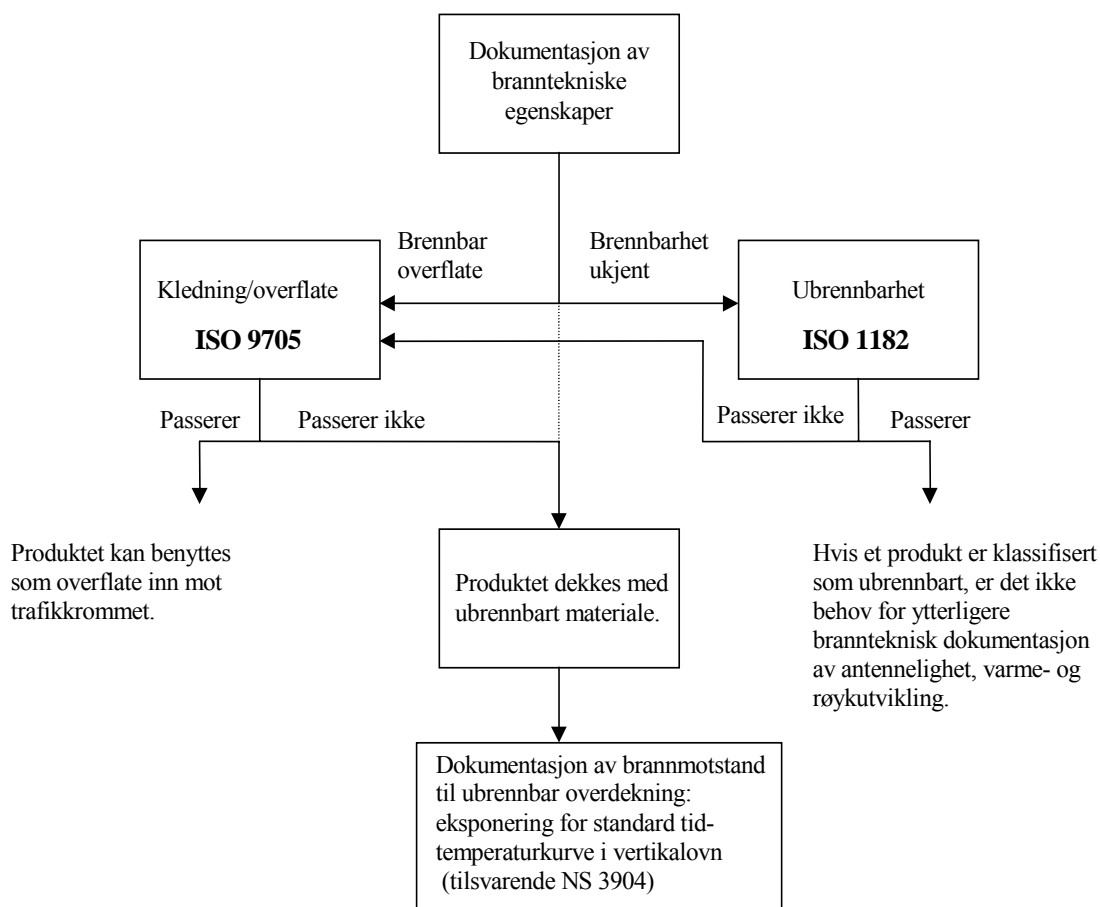
Dersom et produkt ikke klarer akseptkriteriene ved prøving i henhold til ISO 9705, må materialet brannbeskyttes og testes i henhold til punkt 3.

3. Brannbeskyttelse av brennbare produkter skal testes i vertikalovn med eksponering i henhold til standard tid-temperaturkurve, tilsvarende NS 3904. Det settes krav til brannmotstand til produkter som benyttes til overdekning av brennbare produkter (for eksempel sprøytebetong på PE-skum). Brannmotstand evalueres mot kriterier justert i henhold til anvendelsen. Prøvestykket skal bestå av både beskyttelse og isolasjon (brennbart materiale). I tillegg til temperaturmålinger på ueksponert side, gjøres det temperaturmålinger i sjiktet mellom ubrennbar beskyttelse og brennbart materiale. Kriteriene for tilstrekkelig beskyttelse bestemmes ut fra målingene i dette sjiktet, og det settes ingen spesielle krav til ueksponert side, hvis den skal anbringes mot fjell.

Tilstrekkelig beskyttelse (integritet) oppnås ved at gjennomsnittstemperatur mot brennbart materiale ikke overstiger 250 °C etter 45 minutters prøving, samt at det ikke skal oppstå vedvarende flammer i brennbart materiale.

Generelt ved evaluering av brannmotstand, bør man vurdere effekten av skjøteforbindelser og eventuelle oppheng av konstruksjoner i tilfelle brann. Dette for å kunne avdekke eventuelle svakheter som kan være vesentlig for de branntekniske egenskapene, og som ikke lar seg prøve brannteknisk i vertikalovnen.

Dersom produktet ikke passerer testen, må det eventuelt tilleggsbeskyttes og testes på nytt.



Figur CI: Diagram for dokumentasjon av branntekniske egenskaper for konstruksjoner benyttet i tunneler.

**VEDLEGG D: Krav til membraner**Tabell **DI** *Minimumskrav til plastmembraner*

Egenskap	Prøvemethode/ standard	Tester	Enhet	Krav			
				Type 1A Homogen m/signalsjikt <sup>(1)</sup>	Type 1B	Type 2A Armert	
Almen tilstand	NS-EN 1850-2	Visuell		Fri for bobler, rifter og hull			
Tykkelse	NS-EN 1849-2	Tykkelse	mm	1,5	2,0	1,1	
		Toleranse	%	Oppgitt $\pm 10$			
Strekstyrke og forlengelse	NS-EN 12311-2	Strekstyrke	N/50 mm mm	$\geq 500$	$\geq 650$	$\geq 1000$	
		Forlengelse	%	$\geq 300$	$\geq 300$	$\geq 15$	
Rivemotstand	NS-EN 12310-2	Rivestyrke	N	120	160	200	
	DIN	Rivestyrke	N				
Punkterings- motstand	NS-EN12691	Fall slag	mm mm	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	
Kuldemykhet	NS-EN 495-5	Bretteprøve		Fri for krakelering og brudd ved $-25$ °C			
Dimensjons- stabilitet	NS-EN 1107-2	v/ 80 °C /6h	%	$\leq 2$	$\leq 2$	$\leq 0,5$	
Utvasking	SIA 280-12 (83)	8 mnd.	%	$\leq 6$	$\leq 6$	$\leq 6$	
Mikrobe- bestandighet	SIA V280-17	32 uker	%	$\leq 8$	$\leq 8$	$\leq 8$	
Vanntetthet <sup>(2)</sup>	NS-EN 1928	24 t		Tett v/10 kPa			
Egenskaper ved brannpåvirk- ning	NT FIRE 006	Brann- spredning		Bestått <sup>(3)</sup>			
	NS EN-ISO 11925-2	Antennelighet		Klasse E iht NS-EN 13501-1			
Kvalitet	NS-EN 12317-2	Skjærbrudd	N/50 mm	Ikke i sveis			
sveiset skjøt	NS-EN 12316-2	Skrellbrudd	N/50 mm	Ikke i sveis	Ikke i sveis	$\geq 150$	

(1) Signalsjiktet skal ha en tykkelse på  $0,15 \text{ mm} \pm 25 \%$

(2) På steder der membranen kan utsettes for høyere trykk økes kravene tilsvarende

(3) Brannkrav spesifisert i standard.

**Type 1A og 1B (homogen):** innstøpt i betonghvelv.

Krav: seksjonering, vanntrykksmotstand, avjevning av betongunderlag.

**Type 1A (homogen) og 2A (armert):** bak betongelementhvelv og lette hvelvkonstruksjoner, på portaler etc. Krav: sveiset, behandling/utførelse, trykkprøving av sveis, ev. skjøtemembran til tunnel (for portaler)

### Produktsikring

*For å sikre ensartet membranmateriale kan byggherren kreve at den arkiverte prøven testes mot stikkprøver av senere leveranser. De testes av uavhengige laboratorier.*

<b>Egenskap</b>	<b>Testemetode</b>	<b>Membrantype</b>
Visuell homogenitet	Mikroskopi av snittflate	Alle
Identifikasjon	IR med foto	Alle
DSC	EN-ISO 3146	Polyolefiner
Migrering	ISO 177	PVC

**Tabell D2** Minimumskrav til asfaltmembraner

Egenskap	Prøvemethode/ standard	Tester	Enhet	Krav		
				Type 1	Type 2	Type 3
Almen tilstand	NS-EN 1850-1	Visuell		Fri for bobler, rifter og hull		
Tykkelse	NS-EN 1849-1	Tykkelse	mm	4,0	4,5	2,3
		Toleranse	%	± 10	± 10	± 10
Strekkestyrke og forlengelse	NS-EN 12311-1	Strekkestyrke	N/50 mm	800 / 750	> 800 / > 800	500 / 400
		Forlengelse	%, ± 15	40 / 40	> 30 / > 30	30 / 40
Rivemotstand	NS-EN 12310-1	Rivestyrke	N	≥ 120	≥ 120	≥ 120
Punkterings- motstand	NS-EN 12691	Fall slag	mm	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Kuldemykhet	NS-EN 1109	Bøyeegenskaper	°C	- 20	- 20	- 20
Dimensjons- stabilitet	NS-EN 1107-1	Maks. endring	%	< 0,3	< 0,4	< 0,3
Egenskaper ved brannpåvirk-ning	NT FIRE 006			Bestått <sup>(1)</sup>		
Kvalitet	NS-EN 12317-1	Skjærbrudd	N/50 mm	> 500	> 500	> 500
sveiset skjøt	NS-EN 12316-1	Skrellbrudd	N/50 mm	> 100	> 100	> 100

(1) Brannkrav spesifisert i standard

**Type 1:** For legging i varm asfalt

**Type 2:** Rotbestandig

**Type 3:** Normal membran

## Vedlegg B: Grunnlag for beregning av brannutvikling i hulrom

Grunnlag for beregning av tidsavhengig trykkoppbygging, samt utstrømning av gass inntil trykklikevekt i hulrom og omgivelser:

Ved å sette opp energibalansen får vi følgende ligning:

$$d\dot{q} = C_V \rho V \frac{dT}{dt} + h_C A (T - T_0) + A_H v P_0 \quad (\text{B-1})$$

Tilført energi fra brannen går med til å øke temperaturen i hulrommet (gass) mellom hvelvet og fjellet, varmetap til overflater, samt fortregning av atmosfæren ved utløpet.

$\dot{q}$	Energi avgivelse fra brannen
$C_V$	Spesifikk varmekapasitet
$\rho$	Tetthet til luft og røykgasser i hulrommet
$V$	Volum til hulrommet
$T$	Temperatur i hulrommet
$t$	Tid
$h_c$	Konvektiv varmeovergangskoeffisient
$A$	Areal av indre overflater i hulrommet
$T_0$	Initial temperatur, konstant for fjell
$A_H$	Areal av alle utløpshull
$v$	Strømningshastighet ut av utløpshull
$P_0$	Atmosfæretrykket

Ved hjelp av tilstandsligningen for ideell gass,

$$P = \rho RT \quad (\text{B-2})$$

der:

R Gasskonstanten

P Trykk

samt, isentropisk relasjon:

$$P\rho^\kappa = \text{konstant} \quad (\text{B-3})$$

der  $\kappa$  er en konstant (1,4 for luft)

kan man uttrykke sammenhenger mellom trykk, temperatur og arbeid gassen utfører ved ekspansjon.

Ved å anta konstant forbrenningshastighet i hulrommet, kan man uttrykke utløpshastigheten  $v$  som:



$$v = \frac{V}{\rho A_H} \cdot \frac{d\rho}{dt} \quad (\text{B-4})$$

I hulrommet vil brannen raskt forbruke oksygenet i lufta før det oppnås vesentlige temperaturer. Dette vil medføre at en slik brann normalt vil slukke ved 11 % oksygen. Når brannen i et svært brennbart materiale blir kvalt på grunn av mangel på oksygen, vil det normalt bli produsert betydelige mengder uforbrent gass.

Ved randbetingelser gitt i tabell B.1 kan man regne ut konsekvensene forskjellige skader (hullstørrelser) i tunnelhvelvet gir.

### Grunnlag for beregninger etter trykklikevekt

I beregningene antas et kvadratisk hull med åpningsareal på 1 m<sup>2</sup>. Dette åpningsarealet vil gi en ventilasjonskontrollert lufttilførsel lik:

$$m_a = 0,5 \cdot A_0 \sqrt{H_o} \quad (\text{kg} / \text{s}) \quad (\text{B-6})$$

For 1 m<sup>2</sup> kvadratisk åpning får vi:

$$m_a = 0,5 \cdot 1 \sqrt{1} = 0,5 \text{ kg} / \text{s}$$

Den maksimale branneeffekten en brann i PE-skum som denne lufttilførselen kan underholde, blir dermed:

$$Q = m_a \cdot \Delta H_{ox} = 0,5 \text{ kg} / \text{s} \cdot 3 \text{ MJ} / \text{kg} = 1,5 \text{ MW}$$

hvor altså  $\Delta H_{luft} \approx 3,0$  MJ pr kg luft gått med til forbrenning av PE-skum (gjelder tilnærmet for alle materialer, det vil si samme som at  $\Delta H_{oks.} \approx 13,1$  MJ for de fleste bygningsmaterialer).

For andre hullstørrelser, vil en brann gi en annen effektutvikling, som vist i figur 2.1

Tabell B.1 *Dimensjoner og randbetingelser for hulrom.*

Beskrivelse av parameter	Verdi	Enhet
Initialtemperatur	283	°C
Initialtrykk	1,01E+05	Pa
Gasskonstant	273	J/kg/°C
Diameter tunnel	8	m
Lengde	500	m
Høyde i hulrom (avstand)	se kap.2	m
Strømningstap i hull	0,6	
Areal fjell	6280	m <sup>2</sup>
Volum	3140	m <sup>3</sup>
Lufttetthet initielt	1,31	kg/m <sup>3</sup>
Varmeovergang til fjell	20	w/m <sup>2</sup> /°C
Spesifikk varmekapasitet Cv	700	J/kg/°C
Spesifikk varmekapasitet Cp	1000	J/kg/°C
Cp/Cv	1,4	
Slokkegrense andel O2 i luft	0,11	
Brennverdi O2	17000000	J/m <sup>3</sup>
Brennverdi luft m/slokkegrense	1700000	J/m <sup>3</sup>
Antall retninger for flammespredning	2	
Flammespredningshastighet m/s	0,5	

## Vedlegg C: Grunnlag for beregning av varmestråling fra kjøretøy

### Generelt

En brann i en personbil og en lastebil forutsettes å utvikle en varmeeffekt på henholdsvis ca 5 og 20 MW. Det antas at bilene står helt inne ved og langs tunnelveggen, og at det effektive arealet langs vegbanen som brenner vil, være ca 2 m langs veggen og 1 m ut fra veggen for en brann på 5 MW, mens arealet er ca 4 m langs veggen og 2 m ut fra tunnelveggen for en brann på 20 MW. Videre forutsettes det at tunnelen har en T8-profil.

Brannen i bilen modelleres som en væskebrann, som brenner over et areal på  $1 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 2 \text{ m}^2$  for en personbil, og over  $2 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 8 \text{ m}^2$  for en lastebil. Brannen blir modellert ideelt, med blant annet en forbrenningseffektivitet på 100 %, kun med den hensikt å forårsake de ønskete branneffektene på henholdsvis 5 og 20 MW. Programmet FIREX N2.0 er blitt brukt til å beregne denne brannen og tilhørende varmebelastning mot tunnelveggen.

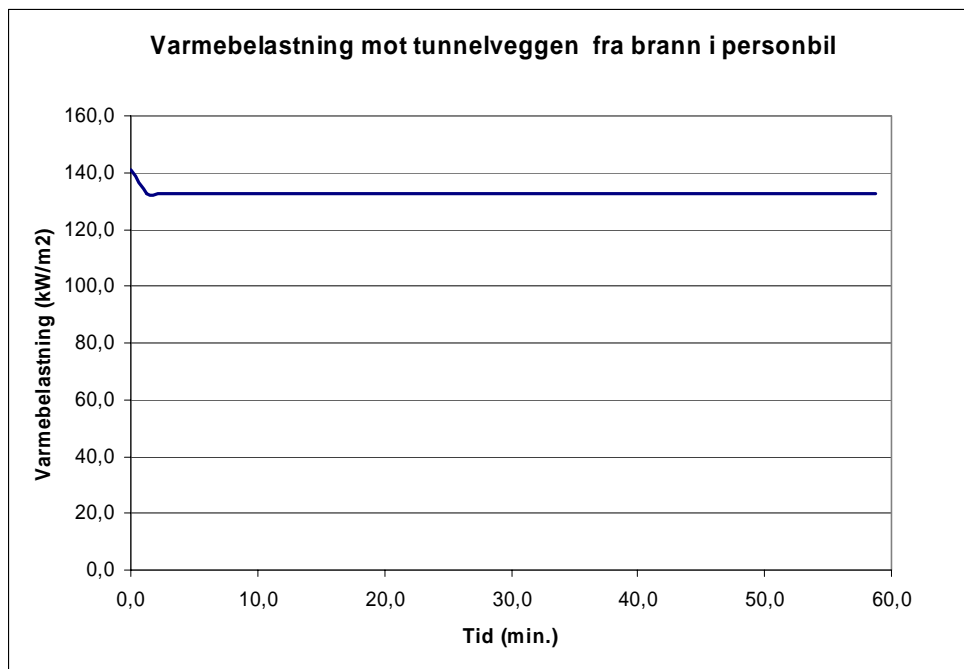
Brannen i væsken har følgende egenskaper:

- Brannintensitet: 0,0625 kg/m<sup>2</sup>/s
- Brannareal: 2 m<sup>2</sup> og 8 m<sup>2</sup>
- Brennverdi til væsken: 40 MJ/kg
- Branneffekt: 5 MW og 20 MW
- Forbrenningens effektivitet: 100 %

### Resultater - personbil

Flammehøyden langs tunnelveggen er beregnet til 5,5 m. Bredden av brannen blir anslagsvis ca 2 m i lengderetning ved bakkenivå, og ca 1 m bred i toppen av flammen. Eksponert areal kan dermed relativt enkelt bestemmes.

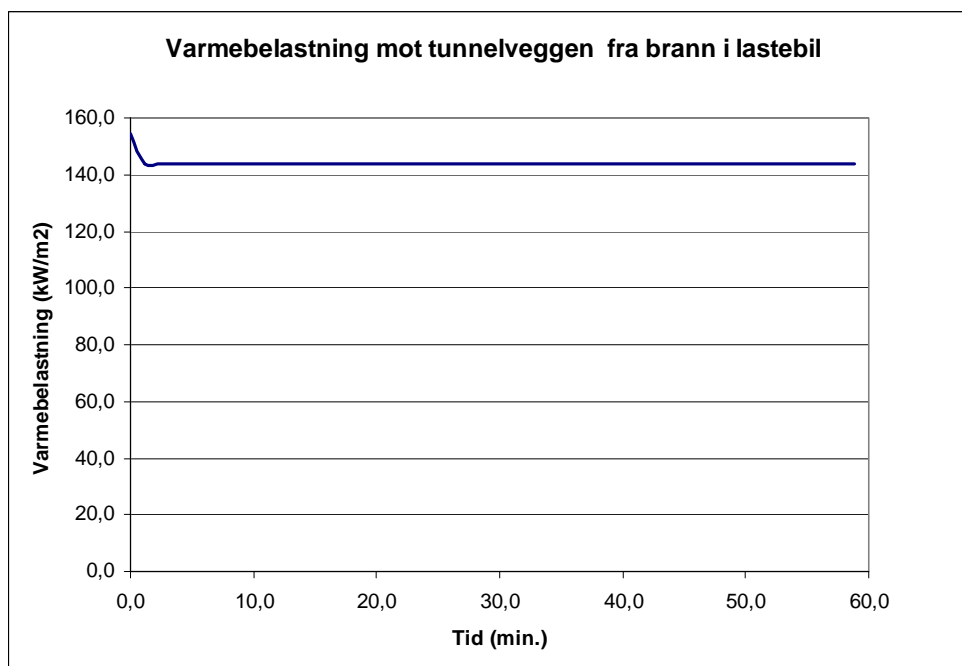
Figur C.1 viser varmebelastningen mot tunnelveggen som funksjon av tiden i løpet av én times brann med konstant brannintensitet lik 0,0625 kg/m<sup>2</sup>/s i én time.



Figur C.1: Varmebelastningen fra en brann i en personbil som står helt inntil tunnelveggen.

### Resultater - lastebil

Flammehøyde langs tunnelveggen og delvis "taket" i tunnelen er beregnet til 7,6 m. Bredden av brannen blir anslagsvis ca 2 m ut fra veggen og lengden langs tunnelveggen blir ca 4 m. Figur C.2 viser varmebelastningen langs tunnelveggen som funksjon av tiden i løpet av én times brann, når en forutsetter konstant brannintensitet lik  $0,0625 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ .



Figur C.2: Varmebelastningen fra en brann i en lastebil som står og brenner helt inntil tunnelveggen.

## Vurderinger

Det fremgår av figur C.1 og C.2 at varmebelastningen på grunn av en brann i en personbil og en lastebil blir begge på ca  $140 \text{ kW/m}^2$ . Grunnen til at varmebelastningen mot tunnelveggen fra en brann i en personbil blir av samme størrelsesorden som brann i en lastebil, er at brannen i en personbil er tilstrekkelig stor til at den tilnærmet vil forårsake maksimal varmestråling fordi emissiviteten er lik 1. Under en viss størrelse på brannen er emissiviteten temmelig avhengig av størrelsen på brannen, mens over denne størrelsen er emissiviteten og varmestrålingen nærmest uavhengig av størrelsen på brannen.

En brann i en personbil ligger tydeligvis i grenseområdet for dette, fordi varmebelastningen mot tunnelveggen er bare litt lavere enn ved brann i en lastebil. Når brannen har nådd kritisk størrelse med hensyn til maksimal varmestråling, vil ikke varmebelastningen bli større dersom brannarealet øker. Flammene fra brannen er da blitt såkalt ”optisk tykke”, og vil ikke gi større varmebelastning ved stråling, dersom størrelsen på brannen øker. En brann i en personbil ligger tydeligvis like under dette arealet.

Det er grunn til å anta at varigheten av en brann i en lastebil kan bli vesentlig lengre enn for en personbil.

## VEDLEGG D: VARMEPÅKJENNING VED BRANN I KJØRETØY PLASSERT I VEGBANEN

### Generelt

En brann i en personbil og en lastebil forutsettes å utvikle en varmeeffekt på henholdsvis ca 5 og 20 MW i 45 minutter. Det antas at bilene står 1 og 1,5 m fra tunnelveggen. Det effektive arealet langs vegbanen som brenner vil være henholdsvis ca 1 m x 2 m for personbilen og 2 m x 4 m for lastebilen, hvor den ene langsiden nærmest tunnelveggen ligger 1 og 1,5 m fra tunnelveggen. Videre forutsettes det at tunnelen har et 'T8-profil'.

Brannen i bilen modelleres som en væskebrann, som brenner over et areal på 1 m x 2 m = 2 m<sup>2</sup> og en 2 m x 4 m = 8 m<sup>2</sup>. Brannen blir modellert ideelt, med blant annet en forbrenningseffektivitet på 100 %, kun med den hensikt å forårsake en ønsket branneffekt på 5 og 20 MW for henholdsvis brann i personbil og lastebil. Programmet 'FIREX N2.0' er blitt brukt til å beregne denne brannen og tilhørende varmebelastning mot tunnelveggen.

Brannen i væsken, som simulerer brann i personbil og lastebil, har følgende egenskaper:

- |                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| • Brannintensitet:             | 0,0625 kg/m <sup>2</sup> /s |
| • Brannareal:                  | 2 og 8 m <sup>2</sup>       |
| • Plassering:                  | 1 og 1,5 m fra tunnelvegg   |
| • Brennverdi til væsken:       | 40 MJ/kg                    |
| • Branneffekt:                 | 5 og 20 MW                  |
| • Forbrenningens effektivitet: | 100 %                       |

### Resultater

#### Personbil

5 MW er antatt som normert varmeutvikling ved brann i en personbil og eksponering mot vegg når kjøretøy står helt inntil, er i vedlegg C beregnet til omlag 140 kW/m<sup>2</sup>.

#### Varmebelastning mot tunnelvegg

Flammehøyden fra brannen i personbilen ble beregnet til 4,1 m. Årsaken til at flammehøyden blir ca 1,4 m lavere i forhold til når bilen står helt ved tunnelen, er at brannen får lufttilførsel fra alle fire sider. Flammene trenger dermed ikke å strekke seg så langt for tilstrekkelig med luft. Bredden av brannen blir anslagsvis ca 2 m i nedre del ved veibanen, avtagende gradvis til ca 1 m bredde i enden. Flammene når dermed ikke oppe i "taket" av tunnelen, som har en minste høyde på 4,6 m ved en avstand på 1 m fra tunnelveggen.

Maksimal varmebelastning mot tunnelveggen når bilen er plassert 1 m fra tunnelveggen vil være I området 55-60 kW/m<sup>2</sup>, og denne varmestrålingen vil holde seg mer eller mindre konstant i 45 minutter når vi forutsetter at bilen brenner med en konstant varmeutvikling på 5 MW i denne perioden. Varmebelastningen vil bestå av ren varmestråling fra brannen i bilen. Vi har her antatt at det ikke vil være nevneverdig røykskjerming fra av brannen, noe som ville ha redusert varmebelastningen mot tunnelveggen noe. Resultatene kan dermed betraktes som noe konservative, fordi det alltid vil være noe røykskjerming i tunnelen på grunn av røyksjiktningen.

Dersom bilen står plassert 1,5 m fra tunnelveggen, vil veggen bli eksponert for en maksimal varmebelastning omlag 40 kW/m<sup>2</sup>.

De maksimale varmebelastningene på henholdsvis 55-60 (40%) og 40 kW/m<sup>2</sup> (30%) gjelder på et punkt på tunnelveggen ca 1-2 m over veibanen og rett ut for senter av bilen i bilens lengderetning. Varmebelastningen vil avta relativt raskt med på den vertikale og den horisontale avstanden fra dette punktet.

### **Varmebelastning mot "taket" av tunnelen med personbil plassert 1 m fra tunnelveggen**

Ettersom flammene ikke når opp til "taket" (det vil si tunnelvelvingen), vil det bare bli eksponert for en røyksøylen fra brannen. Denne vil treffe taket og spre seg enten i begge retninger i tunnelen, eller i den retningen trekken eller ventilasjonen styrer røyken. Følgende resultater for temperatur- og varmebelastning etter 45 minutter brann beregnes ved hjelp av FIREX N2.0:

- Maksimal temperaturlastning like over kjøretøyet: ca 300 °C
- Maksimal varmebelastningen like over kjøretøyet: 13 kW/m<sup>2</sup>
- Temperaturlastningen etter 45 min. i henhold til ISO 852: ca 900 °C
- Andel av temperaturlastningen i henhold til ISO 852: ca 33 %

Både maksimal temperatur- og varmebelastning avtar raskt med avstanden fra kjøretøyet i kjøreretningen av tunnelen.

### **Varmebelastning mot "taket" av tunnelen med personbil plassert 1,5 m fra tunnelveggen**

Vi antar her (på grunnlag av tegninger av T8-profilet) at når bilens avstand til tunnelveggen øker fra 1 m til 1,5 m, øker også avstanden opp til taket av tunnelen over midten av bilen med 0,5 m.

Det vil trolig gi noe lavere maksimal temperatureksponering en i tilfellet foran. Beregninger har imidlertid vist at denne varmebelastningen blir bare ubetydelig mindre, slik at kurvene med hensyn til temperatureksponering og varmebelastning foran, også gjelder for dette tilfellet.

### **Lastebil**

20 MW er antatt som normert varmeutvikling ved brann i en liten varebil eller en tom lastebil. Eksponering mot vegg når kjøretøy står helt inntil er i vedlegg C beregnet til om lag 140 kW/m<sup>2</sup>.

#### **Lastebil plassert 1 m fra tunnelveggen**

Maksimal varmebelastning mot tunnelveggen når bilen er plassert 1 m fra tunnelveggen vil være i området 85-90 kW/m<sup>2</sup> (60%) og denne varmestrålingen vil holde seg mer eller mindre konstant i 45 minutter når vi forutsetter at bilen brenner med en konstant varmeutvikling på 5 MW i løpet av denne perioden.

#### **Lastebil plassert 1,5 m fra tunnelvegg**

Dersom bilen står plassert 1,5 m fra tunnelveggen, vil veggen tilsvarende bli eksponert for en maksimal varmebelastning ca 70 kW/m<sup>2</sup> (50%).

Denne maksimale varmebelastningen ved stråling gjelder på et punkt på tunnelveggen ca 1-2 m over veibanen og rett ut for senter av bilen i bilens lengderetning. Varmebelastningen vil avta relativt raskt med den vertikale og den horisontale avstanden fra dette punktet.

## Varmebelastning mot taket av tunnelen

### Lastebil plassert 1 m fra tunnelvegg

Utstrekningen på flammeeksponeringen av taket er ca 3,5 m. Følgende resultater for temperatur- og varmebelastning etter 45 minutter brann beregnes ved hjelp av FIREX N2.0:

- Maksimal temperaturlastning like over kjøretøyet: ca 725 °C
- Maksimal varmebelastningen like over kjøretøyet: 75 kW/m<sup>2</sup>
- Temperaturlastningen etter 45 min. i henhold til ISO 852: ca 900 °C
- Andel av temperaturlastningen i henhold til ISO 852: ca 80 %

### Bil plassert 1,5 m fra tunnelvegg

Utstrekningen på flammeeksponeringen av taket er ca 3,2 m. Følgende resultater for temperatur- og varmebelastning etter 45 minutter brann beregnes ved hjelp av FIREX N2.0:

- Maksimal temperaturlastning like over kjøretøyet: ca 700 °C
- Maksimal varmebelastningen like over kjøretøyet: 70 kW/m<sup>2</sup>
- Temperaturlastningen etter 45 min. i henhold til ISO 852: ca 900 °C
- Andel av temperaturlastningen i henhold til ISO 852: ca 75 %

## Varmebelastning mot tunnelvegg

Flammehøyden fra brannen i personbilen ble beregnet til 4,1 m. Årsaken til at flammehøyden blir ca 1,4 m lavere i forhold til når bilen står helt ved tunnelen, er at brannen får lufttilførsel fra alle fire sider. Flammene trenger dermed ikke å strekke seg så langt for tilstrekkelig med luft. Bredden av brannen blir anslagsvis ca 2 m i nedre del ved veibanen, avtagende gradvis til ca 1 m bredde i enden. Flammene når dermed ikke oppe i "taket" av tunnelen, som har en minste høyde på 4,6 m ved en avstand på 1 m fra tunnelveggen.

Maksimal varmebelastning mot tunnelveggen når bilen er plassert 1 m fra tunnelveggen vil være i området 55-60 kW/m<sup>2</sup>, og denne varmestrålingen vil holde seg mer eller mindre konstant i 45 minutter når vi forutsetter at bilen brenner med en konstant varmeutvikling på 5 MW i denne perioden. Varmebelastningen vil bestå av ren varmestråling fra brannen i bilen. Vi har her antatt at det ikke vil være nevneverdig røykskjerming fra av brannen, noe som ville ha redusert varmebelastningen mot tunnelveggen noe. Resultatene kan dermed betraktes som noe konservative, fordi det alltid vil være noe røykskjerming i tunnelen på grunn av røyksjiktningen. Dersom bilen står plassert 1,5 m fra tunnelveggen, vil veggen bli eksponert for en maksimal varmebelastning ca 40 kW/m<sup>2</sup>.

De maksimale varmebelastningene på henholdsvis 55-60 og 40 kW/m<sup>2</sup> gjelder på et punkt på tunnelveggen ca 1-2 m over veibanen og rett ut for senter av bilen i bilens lengderetning.



Varmebelastningen vil avta relativt raskt med på den vertikale og den horisontale avstanden fra dette punktet.

### **Varmebelastning mot "taket" av tunnelen med personbil plassert 1 m fra tunnelveggen**

Ettersom flammene ikke når opp til "taket" (det vil si tunnelvelvingen), vil det bare bli eksponert for en røyksøylen fra brannen. Denne vil treffe taket og spre seg enten i begge retninger i tunnelen, eller i den retningen trekken eller ventilasjonen styrer røyken. Følgende resultater for temperatur- og varmebelastning etter 45 minutter brann beregnes ved hjelp av FIREX N2.0:

- Maksimal temperaturlastning like over kjøretøyet: ca 300 °C
- Maksimal varmebelastningen like over kjøretøyet: 13 kW/m<sup>2</sup>
- Temperaturlastningen etter 45 min. i henhold til ISO 852: ca 900 °C
- Andel av temperaturlastningen i henhold til ISO 852: ca 33 %

Både maksimal temperatur- og varmebelastning avtar raskt med avstanden fra kjøretøyet i kjøreretningen av tunnelen.

### **Varmebelastning mot "taket" av tunnelen med personbil plassert 1,5 m fra tunnelveggen**

Vi antar her (på grunnlag av tegninger av T8-profilen) at når bilens avstand til tunnelveggen øker fra 1 m til 1,5 m, øker også avstanden opp til taket av tunnelen over midten av bilen med 0,5 m.

Det vil trolig gi noe lavere maksimal temperatureksponering en i tilfellet foran. Beregninger har imidlertid vist at denne varmebelastningen blir bare ubetydelig mindre, slik at kurvene med hensyn til temperatureksponering og varmebelastning foran, også gjelder for dette tilfellet.

## **Lastebil**

### **Lastebil plassert 1 m fra tunnelveggen**

Maksimal varmebelastning mot tunnelveggen når bilen er plassert 1 m fra tunnelveggen vil være i området 85-90 kW/m<sup>2</sup>, og denne varmestrålingen vil holde seg mer eller mindre konstant i 45 minutter når vi forutsetter at bilen brenner med en konstant varmeutvikling på 5 MW i løpet av denne perioden.

### **Lastebil plassert 1,5 m fra tunnelvegg**

Dersom bilen står plassert 1,5 m fra tunnelveggen, vil veggen tilsvarende bli eksponert for en maksimal varmebelastning ca 70 kW/m<sup>2</sup>.

Denne maksimale varmebelastningen ved stråling gjelder på et punkt på tunnelveggen ca 1-2 m over veibanen og rett ut for senter av bilen i bilens lengderetning. Varmebelastningen vil avta relativt raskt med den vertikale og den horisontale avstanden fra dette punktet.

### **Varmebelastning mot taket av tunnelen**

#### **Lastebil plassert 1 m fra tunnelvegg**

Utstrekningen på flammeeksponeringen av taket er ca 3,5 m. Følgende resultater for temperatur- og varmebelastning etter 45 minutter brann beregnes ved hjelp av FIREX N2.0:

- Maksimal temperaturlastning like over kjøretøyet: ca 725 °C
- Maksimal varmebelastningen like over kjøretøyet: 75 kW/m<sup>2</sup>
- Temperaturlastningen etter 45 min. i henhold til ISO 852: ca 900 °C

- Andel av temperaturlastningen i henhold til ISO 852: ca 80 %

### Bil plassert 1,5 m fra tunnelvegg

Utstrekningen på flammeeksponeringen av taket er ca 3,2 m. Følgende resultater for temperatur- og varmebelastning etter 45 minutter brann beregnes ved hjelp av FIREX N2.0:

- Maksimal temperaturlastning like over kjøretøyet: ca 700 °C
- Maksimal varmebelastningen like over kjøretøyet: 70 kW/m<sup>2</sup>
- Temperaturlastningen etter 45 min. i henhold til ISO 852: ca 900 °C
- Andel av temperaturlastningen i henhold til ISO 852: ca 75 %

---

<sup>1/</sup> **Håndbok 163 Vann og frostsikring i tunneler.** Statens Vegvesen, Oslo, 2001.

<sup>2/</sup> **Håndbok 021 Vegtunneler.** Statens Vegvesen, Oslo, 2001.

<sup>3/</sup> Opstad, Kristen: **Brannteknisk prøving og dokumentasjon av brennbare materialer til bruk i vegtunneler**, SINTEF Bygg og miljøteknikk, STF22 A99855, Trondheim 2000.

<sup>4/</sup> **ISO 4589 - 1984. Plastics - Determination of flammability by oxygen index.** International Organization for standardization, Geneve, Sveits, 1984.

<sup>5/</sup> **NS-EN ISO 11925-2:2002 Prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning. Antennelighet av byggeprodukter ved direkte påvirkning med én enkelt flamme (ISO 11925-2:2002).** Norges standardiseringsforbund (NSF), Oslo, juni 2002.

<sup>6/</sup> **NS-EN 13501-1, Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning.** 1. utgave. Norges Standardiseringsforbund (NSF), Oslo, august 2002.

<sup>7/</sup> Hansen, Anne Steen. Hovde, Per Jostein.: **Bygningsmaterialers egenskaper ved brannpåvirkning – Oversettelse av nasjonale klasser til Euroklasser.** STF22 A00827 Norges branntekniske laboratorium, august 2000.

<sup>8/</sup> Danielsen, U., Hammer, T.A., Justnes, H., Smeplass, S.: **Marine concrete structures exposed to hydrocarbon fires.** STF25 A88064, SINTEF Norges branntekniske laboratorium, desember 1988

<sup>9/</sup> Hammer, T.A. and Hansen, P.A.: **Marine concrete structures exposed to hydrocarbon fire. Spalling resistance of LWA concrete.** STF25 A90009, SINTEF Norges branntekniske laboratorium, mars 1990

- 
- /<sup>10</sup>/ Hansen, P.A. og Jensen, J.J.: **High strength concrete phase 3. SP6-fire resistance. Report 6.3 fire resistance and spalling behaviour of LWA beams.** STF25 A95004, SINTEF Norges branntekniske laboratorium, mars 1995
- /<sup>11</sup>/ Boström, Lars: **The performance of some self compacting concretes when exposed to fire.** SP Report 2002:23, SP Swedish National Testing and Research Institute, SP Fire Technology 2002.
- /<sup>12</sup>/ V.K.R. Kodur: **Fire Performance of High-Strength Concrete Structural Members** Construction Technology Update No. 31, National Research Council of Canada, Ottawa K1A 0R6 (<http://www.nrc.ca/irc/ctus/ctu31e.pdf>), utskrift 2002-12-10
- /<sup>13</sup>/ Lindgård Jan.: **Branntotstand av lettbetong** , STF22 A97831, SINTEF Bygg og miljøteknikk 1997
- /<sup>14</sup>/ Synnøve Haram (red.): **Håndbok i brannsikring ved utførelse av varme arbeider.** ISBN 82 7485-040-8. Norsk Brannvern Forening, Oslo, 1999.