

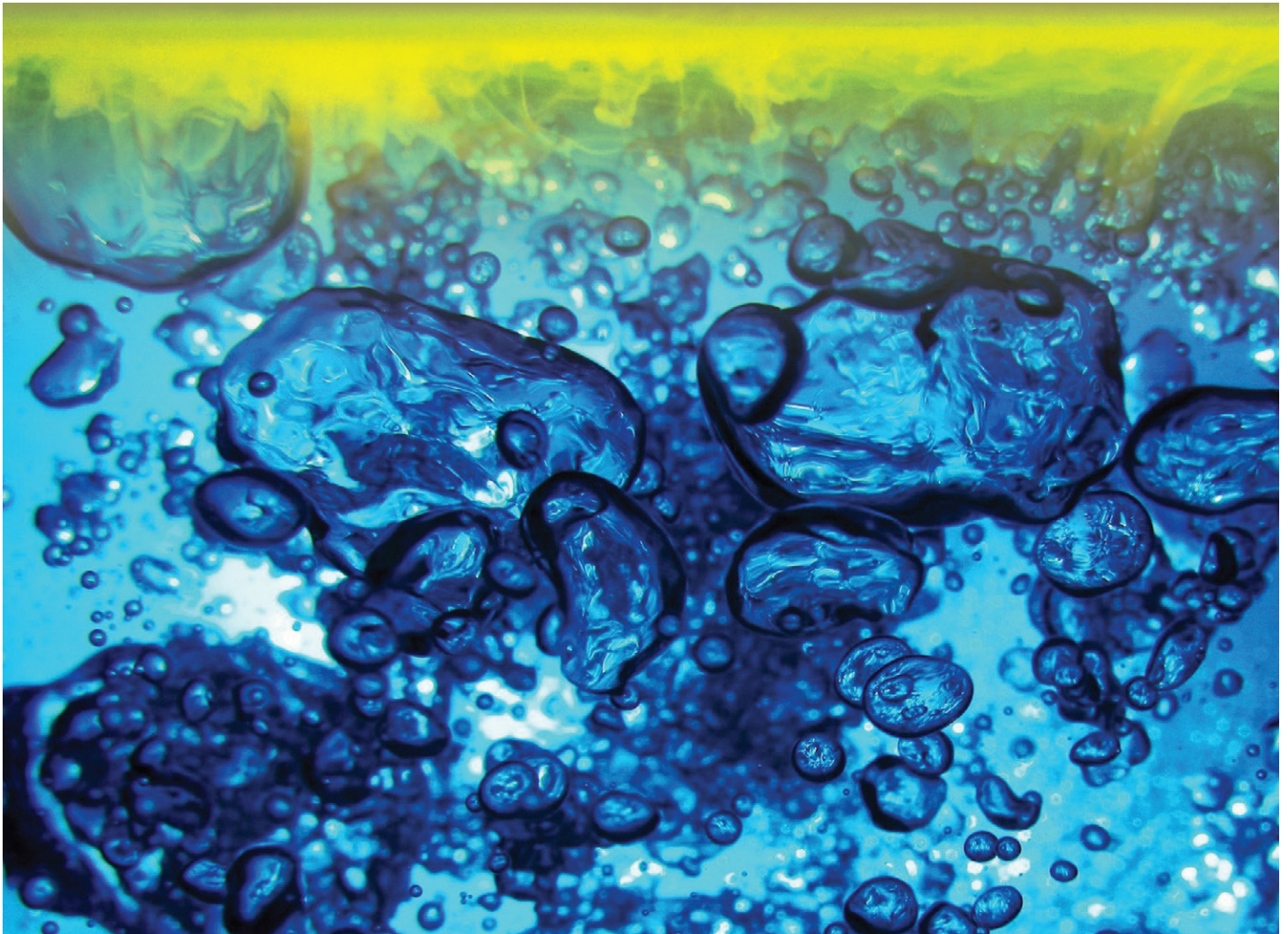


Brannsikringsfibre

Potensielle spredningsveier til omliggende miljø og tiltak mot spredning

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 140



NORWAT - Nordic Road Water

Tittel

Brannsikringsfibre

Undertittel

Potensielle spredningsveier til omliggende miljø og tiltak mot spredning

Forfatter

Hedda Vikan, Kalambayi Rodrigue Nyembwe

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Miljø

Prosjektnummer

603019

Rapportnummer

Nr. 140

Prosjektleder

Hedda Vikan

Godkjent av

Sondre Meland

Emneord

Miljø, vann, brannsikringsfiber, betong, tunnel

Sammendrag

Mikro polypropylenfiber tilsettes sprøytebetong for å sikre mot eksplosiv betongavskalling under brann. Under sprøyting av betong vil en andel brannsikringsfibre virvles opp i lufta. Disse er svært finpartikulære og utgjør problemer for arbeidsmiljøet og maskiner i tunnelen. Rapporten omhandler i hvilken grad fibrene følger luft, vann og masser ut av tunnelen og til omliggende miljø. Mottiltak foreslås. Det finnes per dato liten tilgjengelig kunnskap om skadevirkninger av mikroplast på biota. Rapporten tar dermed ikke stilling til om mikroplastfiberne kan tas opp av eller skade vannlevende organismer.

Title

Micro polypropylene fibres to resist fire induced concrete spalling

Subtitle

Potential transportation routes to surrounding environment and countermeasures

Author

Hedda Vikan, Kalambayi Rodrigue Nyembwe

Department

Traffic safety, environment and technology

Section

Environmental Assessment

Project number

603019

Report number

No. 140

Project manager

Hedda Vikan

Approved by

Sondre Meland

Key words

Environment, water, micro polypropylene fibre, concrete, tunnel

Summary

Micro polypropylene fibres are added to shotcrete to prevent fire-induced concrete spalling. A fraction of the fibres are whirled into air as the shotcrete is applied. The report discusses whether the fibres are transported out of the tunnel with masses, water and air to the surrounding environment. Countermeasures are suggested. There is per date little knowledge about possible harmful effects of micro polypropylene fibres on biota. The report is thus not discussing whether or not the fibres can be harmful to water living organisms.



1 Forord

NORWAT er et fireårig etatsprogram (2012-2015) som gjennom ny kunnskap skal bidra til at Statens vegvesen planlegger, bygger og drifter vegnettet uten å påføre vannmiljøet uakseptabel skade. Med dette programmet ønsker vi å redusere risikoen for biologisk skade forårsaket av avrenningsvann, redusere utslipp av miljøgifter til resipient og lage renseløsninger som er tilpasset landskap og resipient. Dette skal vi oppnå ved å utvikle anvendbare metoder for når, hvor og hvilke rensertiltak skal iverksettes. I tillegg skal vi etablere forslag til retningslinjer og rutiner for drift og vedlikehold av renseløsningene. Ytterligere informasjon om NORWAT inkludert publiserte rapporter finnes på våre nettsider www.vegvesen.no/norwat.

Denne rapporten gir oversikt over dagens praksis ved bruk og påføring av brannsikringsfibre, mulige spredningsveier til omgivelsene og aktuelle tiltak for å hindre spredning av fibre fra anlegget til omliggende miljø.



Innhold

1	Forord	1
2	Innledning.....	3
3	Teori.....	4
3.1	Tunnelbrann og avskalling av betong.....	4
3.2	Hva er brannsikringsfibre	5
3.3	Sprøyting av betong med brannsikringsfibre	6
4	Spredning av brannsikringsfibre til omliggende miljø.....	7
4.1	Spredning av fibre med luft.....	7
4.2	Spredning av fibre med prelltap.....	9
4.3	Spredning av fibre med vann	10
5	Konklusjon og anbefalinger	10
6	Referanser	11

2 Innledning

Flere av Statens vegvesens tunnelprosjekter har erfart at store mengder makroplastfiber fra sprøytebetong ender opp langs kyst- og strandsoner tilknyttet til disse anleggene. Fibrene brukes som armering for sprøytebetongen. Spredning av plastfibre medfører mye ekstra jobb for prosjektene i form av å holde tilbake fibre som spres vannveien og/eller å rydde opp fibre som stammer fra anleggsområdet. Plast har en levetid i miljøet som kan variere fra hundre til flere tusen år avhengig av sammensetning og ytre påvirkninger. Det antas at all plast som har blitt produsert siden produksjonen startet på 1950- tallet, om man ser bort fra plast som er forbrent eller i bruk, fortsatt er å finne i miljøet som hele gjenstander eller fragmenter (Barnes et al. 2009). Figur 1 viser sprengsteinsmasser med løse plastfibre som har fulgt prelltapet. Figur 2 viser eksempel på at store mengder fiber vaskes ut av slike masser om de legges ut i sjø.



Figur 1: Sprengsteinsmasser med sementdekte makro pp-fiber fra sprøytebetong. Fibrene er markert med røde piler for å synes bedre på bildet. (Foto: Hedda Vikan 2012)



Figur 2: Store mengder makro pp-fibre kan flyte opp til vannoverflaten når sprengsteinsmasser legges ut i sjø. Bildet til venstre viser en demning som er konstruert for å filtrere unna fibre. Bildet til høyre er et nærbilde av den samme demningen (Foto: Hedda Vikan 2012).

Sommeren 2012 ble det ved Vegdirektoratet gjennomført et prosjekt som fokuserte på hvordan makro-plastfibre spres fra tunnelanlegg til vann og sjø i nærområdet og aktuelle tiltak for å hindre dette. Rapporten viser at de fleste fibre som ender opp langs sjø- eller kystsoner stammer fra tunnelmasser som benyttes til utfylling i sjø eller ved bygging av nye veier (Likhosherskaya og Nyembwe 2012). I tillegg har det blitt stilt spørsmål ved om spredning av mikrofibre som tilsettes betong for brannsikring også kan utgjøre et miljøproblem. Denne rapporten gir oversikt over dagens praksis ved bruk og påføring av brannsikringsfibre, mulige spredningsveier til omgivelsene og aktuelle tiltak for å hindre spredning av fibre fra anlegget til omliggende miljø.

3 Teori

3.1 Tunnelbrann og avskalling av betong

Eksplisiv avskalling av betong, hvor store biter av betong kan slynges flere meter, kan forekomme under brann som følge av rask temperaturøkning. Ettersom nye betongflater utsettes for brann vil progressiv eksplisiv avskalling innover i betongen være en trussel for konstruksjonen som helhet.

Det er flere teorier om hvorfor mikro-plastfibre gir sikkerhet mot eksplisiv avskalling under brann, men brannsikringsfiberens virkemåter er likevel ikke fullstendig forstått. Avskallingen forklares ofte med at damptrykket i betongens porer øker med økende temperatur. Når temperaturen øker vil fukten i betongen omdannes til damp. Om dampen ikke har noen kanaler ut av betongen vil trykket øke inntil betongens strekkfasthet overskrides hvorpå biter av betongen eksplisivt løsriveres (Chan et al. 1999).

En annen teori forklarer eksplisiv avskalling med at sementens hydratasjonsprodukter brytes ned ved høye temperaturer og at det dermed oppstår indre oppsprekking i sementpasta og rundt tilslag. Tilslaget og sementlimet kan også utvide seg i ulik grad på grunn av oppvarming og dermed påføre skader og opprissing i betongen. En alternativ teori er at indre oppsprekking oppstår når temperaturdifferansen mellom betongens kjerne og overflate når en viss verdi (Peng et al 2006).

3.2 Hva er brannsikringsfibre

Brannsikringsfibre er også kjent under navnene polypropylen-mikrofiber, pp-mikrofiber og englehår (Entreprenørservice 2012). Typisk utseende av fibrene er vist i Figur 3 mens typiske egenskaper er gitt i Tabell 1.

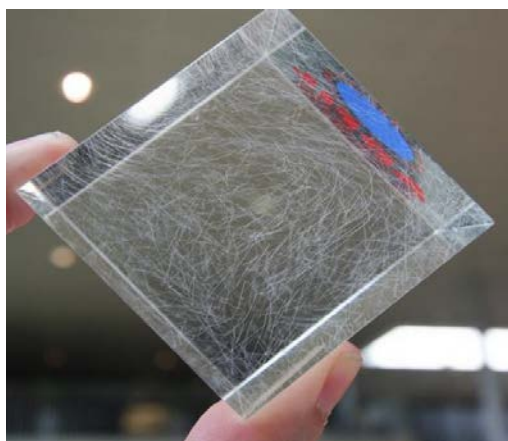


Figur 3: pp-mikrofiber (Foto: Kalambayi Rodrigue Nyembwe 2012)

Tabell 1: Eksempel på typiske egenskaper til brannsikringsfibre (Drugli 2005)

Materiale	Polypropylen
Densitet (kg/cm ³)	0,91
Varmebestandighet (°C)	100
Glassovergangstemperatur (°C)	-17
Smeltepunkt (°C)	Ca. 180
Lengde (mm)	6
Bredde (µm)	18

Det tilsettes 2 kg/m³ brannsikringsfibre til sprøytebetong som sikring mot avskalling (Hb 025, Larsen 2008). Figur 4 illustrerer fordeling av dette volumet over en flate.



Figur 4: Illustrasjon på fordeling av 2 kg/m³ pp-mikrofiber (Foto: Per Erlieen Dalløken 2008)

Figur 5 viser betong med og uten 2 kg/m³ brannsikringsfibre etter brannforsøk. Figuren illustrerer at betongen med brannsikringsfiber er hel etter brannforsøket, mens betongen uten fiberen har hatt kraftig avskalling. Forsøkene tyder på at nedsmeltingen av fiberen under brann skaper et kontinuerlig poresystem som damptrykket kan emigrere gjennom.



Figur 5: Betong med (venstre) og uten (høyre) 2 kg/m³ brannsikringsfibre etter brannforsøk (Foto: Claus K. Larsen 2008)

3.3 Sprøyting av betong med brannsikringsfibre

Brennbart isolasjonsmateriale skal beskyttes mot brann (Hb 163, Kapittel 5.4). En vanlig løsning er sprøytebetong som inneholder finfordelte mikro pp-fiber. Mikrofiberen kommer i tillegg til armering som kan bestå av makrofibre eller nett. Påkrevet dose monofilament polypropylen mikrofiber er 2 kg/m³. Fibrene skal ha tykkelse ca. 18 µm og lengde ca. 6 mm (Hb 025, prosess 34.3b).

Total tykkelse av brannsikringshvelv skal være minimum 60 mm for fiberarmert og 80 mm for nettarmert sprøytebetong (Hb 163, kapittel 8.3). Betongen sprøytes gjerne i tre lag:

1. Første påslag er det tynneste laget, gjerne 10-15 cm. Dette laget skal stive av underliggende isolasjonsmateriale (polyetylenskum) slik at det tåler vekten av påfølgende lag uten at det trekkes nedover. Første påslag må ikke bli for tynt. Da sprekker det opp. Lagtykkelsen kan kontrolleres ved hjelp av såkalte «spioner» som er festet i armeringsnettet (se Figur 6). Isolasjonsmattene er gjerne glatte og uporøse sammenlignet med berg og sprøytebetong. Mesteparten av prelltapet er dermed knyttet til første påslag.
2. Andre påslag påføres etter at første påslag har oppnådd tilstrekkelig styrke. Dette laget er gjerne så tykt at det når opp mot armeringsnettet.
3. Siste påslag sikrer overdekning av nettet.



Figur 6: Sprøyting av betong med brannsikringsfibre i Nestunnelen (Foto: Hedda Vikan 2013)

4 Spredning av brannsikringsfibre til omliggende miljø

4.1 Spredning av fibre med luft

Når betong med mikro pp-fiber sprøytes spres en andel fibre med luften (se Figur 7). Disse spres via dysen når betongen sprøytes (se Figur 6). Fibrene er svært lette (densitet tusen ganger lavere enn vann) og kan sveve i luften over relativt lang tid. Partiklene er svært små og legger seg som et støvlag på tilgjengelige flater. Fibrene ansees som et problem for arbeidsmiljøet. De kan også tette radiatorer og filtre på biler og maskiner i tunnelen. Problemet vil tilta ettersom andel løse fibre akkumuleres etter flere skift.

Vanngardin er et vanlig tiltak for å skåne arbeidere og maskiner mot luftbårne løse fibre og støv. Denne opprettes ved å sprøyte vann i luften for å tyngge oppvirvlede fibre og støv og dermed tvinge dem ned på bakken. I tilfeller hvor det ikke er tilstrekkelig naturlig trekk gjennom tunnelen, kan det også benyttes vifter for å lede fibrene bort fra operatørene (Hetlebakke 2013). Bruk av vifte og naturlig gjennomtrekk vil samtidig trekke med seg fiberpartikler ut av tunnelen til omliggende miljø.

Fibre som følger luften ut av tunnelen er så finpartikulære at det vil være vanskelig sette inn tiltak for videre spredning til vann og resipient. En hittil uprøvd løsning vil være å installere et avsug med filter som drar til seg luftstrømmen fra sprøyteriggen og fanger luftbårne fibre og støv. En slik løsning vil imidlertid være kostbar.



Figur 7: Under sprøyting av betong med brannsikringsfibre inneholder luften løse partikler som stammer fra pp-fibre. Partiklene er svært små og legger seg som et støvlag på tilgjengelige flater. Øverste bilde viser at partiklene er så små at de for øyet oppfattes som støv. Underste bilde viser at det er stor tetthet av fibre i luften (Foto: Odd Andre Rustad, Multiconsult, 2013)

4.2 Spredning av fibre med prelltap

Riktig dimensjonert betong sikrer at mikrofiberen er godt fordelt og dekket av sementpasta. Prelltap vil dermed binde opp en stor del av den tilsatte fiberen slik at den ikke spres med luft og vann. Figur 8 og Figur 9 viser eksempel på prelltap fra Nestunnelen. Det kan sees at fiberen er bundet av betongen og at den ikke samles som løse fiberballer.



Figur 8: Prelltap fra sprøytebetong med brannsikringsfibre. Fibrene er ikke løse, men bundet av betongen. Bildet er tatt under sprøytearbeider i Nestunnelen (Foto: Hedda Vikan 2013).



Figur 9: Prøve av prelltap med brannsikringsfibre. To røde piler er lagt inn i bildet for å tydeliggjøre fibrene. (Foto: Hedda Vikan 2013)

Tunnelsålen rengjøres når sprøytearbeidet er ferdig. Det er vanlig å frese den og skrape sammen løse masser som deretter deponeres. Fibre vil dermed i liten grad spres til omgivelsene via prelltapet, forutsatt at massene ikke deponeres eller gjenbrukes i vann. Om massene legges ut i vann vil trolig en andel av fibrene vaskes ut av betongen og ansamles i vannoverflaten (Likhosherskaya og Nyembwe 2012).

Asfalten må beskyttes mot prelltapet i tilfeller hvor den er ferdig lagt før brannsikringen sprøytes. Påstrøing av sand på sålen før sprøytearbeidet starter er en enkel beskyttelsesmetode. Om sanden er grovkornete vil den holde tilbake noe av de løse fibrene og hindre dem i å følge eventuelle vannstrømmer ut av tunnelen (Likhosherskaya og Nyembwe 2012). Fiberduk og presenning brukes for å skåne betongelementer og vegger samt biler og maskiner, men i liten grad for å skåne ferdig asfaltert tunnelsåle mot søl og prelltap. Presenning eller fiberduk vil ha liten tilbakeholdende effekt på løse fibre.

4.3 Spredning av fibre med vann

Betong med brannsikringsfibre blir sprøytet på et stadium hvor sprengsteinsmasser er fjernet og vannrenseanleggene for drivevann ikke lenger er operative. Aktuelle vannkilder er dermed borvann tilknyttet montering av bolter, vanngardin og innlekkasjevann. Disse vannmengdene er relativt små sammenlignet med tunneldrivefasen. Størstedelen av fibrene som følger prelltapet er bundet av sprøytebetong og vil ikke følge vannstrømmer ut av tunnelen. Masser med prelltap bør imidlertid ikke deponeres i sjø siden sannsynligheten for utvasking av fibre da vil øke.

Luftbårne fibre som tvinges til tunnelsålen av en vanngardin vil kunne følge vann- eller massestrømmer ut av tunnelen. Disse fibrene er så finpartikulære at de ikke vil utgjøre et synlig forsøplingsproblem. Det finnes per dato liten tilgjengelig kunnskap om skadevirkninger av mikroplast. I hvilken grad mikroplastfibre kan tas opp av eller skade vannlevende organismer er dermed et ubesvart spørsmål.

5 Konklusjon og anbefalinger

Under sprøyting av betong vil en andel brannsikringsfibre virvles opp i lufta. Disse er svært finpartikulære og utgjør problemer for arbeidsmiljøet og maskiner i tunnelen. I hvilken grad mikroplastfibre kan tas opp av eller skade vannlevende organismer er et ubesvart spørsmål.

Størstedelen av fiberen fra prelltapet bindes av betongen. Mengde fiber som vaskes ut av prelltapet regnes for å være liten så lenge disse massene ikke deponeres eller legges ut i vann. Det er dermed viktig å samle opp fibre i tunellområdet og deponere eller gjenbruke dem på en forsvarlig måte slik at de ikke spres til omliggende miljø.

Vanngardin, grovkornet sand/grus, oppsamling av prelltap og riktig deponering er foreslåtte tiltak mot spredning av pp-mikrofiber til omliggende miljø. En uprøvd løsning vil være å installere et avsug med filter som drar til seg luftstrømmen fra sprøyteriggen og fanger luftbårne fibre og støv.

6 Referanser

Barnes, D. K., F. Galgani, et al. (2009), "Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments." *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **364**(1526): 1985-1998.

Buvik H., Fullskala brannforsøk 100 MW brannsikret PE-skum, Statens vegvesen Teknologirapport nr. 2488, 2007-05-

21 <http://svvgw.vegvesen.no/http://svvbibsys01.vegvesen.no/epublisher/document.asp?func=show&id=834&type=0&service=0>

Chan Y.N.S., Peng G.-F., Anson M., Fire behaviour of high performance concrete made with silica fume at different moisture contents, *ACI Materials Journal*, **95** (1999), 405–409

Dalløkken P. E., Plast i taket sikrer Bjørvika-tunnelen, <http://www.tu.no/bygg/2008/05/14/plast-i-taket-sikrer-bjorvika-tunnelen>

Drugli M. S., Bruk avlettbetongelement i tunneler med god brannsikkerhet – effekt av PP-fiber, fuktinnhold og tilsvarende type, Masteroppgave (2005) NTNU, Institutt for bygg, anlegg og transport

Entreprenørservice, <http://www.entreprenorservice.no/Fagomrader/Sprøytebetong/Brannsikring/> 2012

Hetlebakke J.E, Entreprenørservice, personlig kommunikasjon 2013

Håndbok 025, Prosesskode 1: Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter: hovedprosess 1-7, prosess 34.3-Hvelv av sprøytebetong, Vegdirektoratet, 2007, ISBN 82-7207-598-9

Håndbok 163 Vann- og frostsikring i tunneler, Vegdirektoratet, 2006, ISBN 82-7207-597-0

Larsen C. K., «Brannsikring av tunneler», Foredrag holdt ved Teknologidagene 2008, <http://www.vegvesen.no/attachment/60755/binary/12836>

Likhosherskaya I., Nyembwe K. R., Spredning av plastfibre fra sprøytebetong – kartlegging av spredningsmåte og mottiltak. Statens vegvesen rapport nr. 146 Juli 2012

Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 Sprøytebetong til bergsikring, 2011

Peng G.F., Yang W.-W. Zhao J., Liu Y.-F., Bian S.-H., Zhao L.-H., Explosive spalling and residual mechanical properties of fiber-toughened high-performance concrete subjected to high temperatures, *Cem. Concr. Res.* **36** (4) (2006) 723-727



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen