



Statens vegvesen

# Spredning av plastfibre fra sprøytebetong

Kartlegging av spredningsmåte og mottiltak

Statens vegvesens rapporter

Nr. 146



Vegdirektoratet  
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  
Tunnel og betong  
20.07.2012



### Tittel

Spredning av plastfibre fra sprøytebetong

### Undertittel

Kartlegging av spredningsmåte og mot-tiltak

### Forfatter

Inna Likhosherskaya  
Kalambayi Rodrigue Nyembwe

### Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-lingen

### Seksjon

Tunnel og betong

### Prosjektnummer

603019

### Rapportnummer

Nr. 146

### Prosjektleder

Hedda Vikan

### Godkjent av

Kjersti K. Dunham

### Emneord

Plastfiber, prelltap, vann, miljø, tunnel, sprøytebetong.

### Sammendrag

Flere av Statens vegvesens tunnelprosjekter har erfart at store mengder plastfiber fra sprøytebetong ender opp langs kyst- og strandsone tilknyttet til disse anleggene. Denne rapporten beskriver hvordan plas-  
tfiber kan spres fra anlegget, miljøpåvir-  
kning utover å være et forsøplingsprob-  
lem samt tiltak for å redusere og hindre  
spredning. Flere av tiltakene som foreslås  
i rapporten vil også være effektive for å  
hindre spredning av tennlunter (Nonel-  
slanger).

### Title

Spread of plastic fibers from sprayed con-  
crete

### Subtitle

Mapping of transport to the environment  
and countermeasures

### Author

Inna Likhosherskaya  
Kalambayi Rodrigue Nyembwe

### Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-lingen

### Section

Tunnel og betong

### Project number

603019

### Report number

No. 146

### Project manager

Hedda Vikan

### Approved by

Kjersti K. Dunham

### Key words

Plastic fibre, rebound, water, environment,  
tunnel, shotcrete

### Summary

Several of the NPRA (Norwegian Public  
Roads Administration) tunnel projects have  
found that large quantities of plastic fiber  
from shotcrete ends up along the coast  
and shore attached to these plants. This  
report describes how the plastic fiber can  
be spread from the plant, environmental  
impact beyond being a littering problem  
and measures to reduce and prevent the  
spread. Several of the measures pro-  
posed in the report will also be effective  
in preventing the spread of ignition fuses  
(NONEL hoses).

## **Sammendrag**

Flere av Statens vegvesens tunnelprosjekter har erfart at store mengder plastfiber fra sprøytebetong ender opp langs kyst- og strandsone tilknyttet til disse anleggene. Denne rapporten beskriver hvordan plastfiber kan spres fra anlegget, miljøpåvirkning utover å være et forsøplingsproblem samt tiltak for å redusere og hindre spredning. Flere av tiltakene som foreslås i rapporten vil også være effektive for å hindre spredning av tennlunter (Nonel-slanger).

## Kreditering

Først og fremst, takk til Hedda Vikan (Tunnel og Betong) for innspill og en virkelig god veiledning. Hun har alltid vært lydhør og tilgjengelig, og dette er noe vi har satt stor pris på.

Takk til følgende personer:

Per Hagelia (Tunnel og Betong) som kom med sine forslag om utførelse av laboratorietesten. Per sørget for at vi fikk alle materialer vi trengte for å oppnå forsøket.

Reidar Kompen (Tunnel og Betong) for velvillig bistand. Han meldt seg villig til å svare på alle spørsmålene vi lurte på.

Synnøve Adelheid Myren (Tunnel og Betong) for god fagdiskusjon. Hun kom opp med gode forslag og konstruktive diskusjoner.

Kjersti Kvalheim Dunham (Tunnel og Betong) som er en trivelig seksjonsleder. Gjennom seksjonsmøter sørget hun at vi fikk godt inntrykk om arbeidslivet på Statens Vegvesen.

Knut Kjuul som har vært til stor hjelp på laboratoriet. Han fikset alle materialer vi trengte til vårt forsøk.

Espen Martinsen (kontrollingeniør ytre miljø) som ga oss nødvendig informasjon og god innblikk på prosjektet fv. 557 Ringveg vest, byggetrinn 2 i Bergen.

Karen Klemetsrud (Tunnel og Betong) som har vært veldig hjelpsom. Hun kom opp med gode kommentarer til prosjektet.

Ruth G. Haug (LNS) som organiserte vårt besøk på Holmestrand.

Til slutt takker vi NORWAT for den spennende sommeraktiviteten. Det har vært lærerik å jobbe med dette miljøprosjektet.

## Forord

Flere av Statens vegvesens tunnelprosjekter har erfart at store mengder plastfibre ender opp langs kyst og strandsone tilknyttet anlegget. I den sammenheng initierte etatsprogrammet NORWAT (Nordic Road water) et prosjekt sommeren 2012 med dette som tema. Prosjektet er gjennomført og rapportert av Inna Likhosherskaya og Kalambayi Rodrigue Nyembwe, begge byggstudenter ved Høyskolen i Oslo. Hedda Vikan (Vegdirektoratet) har veiledet oppgaven.

Målene med oppgaven var å undersøke

- hvordan plastfibre og tennlunter fra tunnelprosjekter ender opp langs kyst og strandsoner
- tiltak for å hindre spredning av fibre og tennlunter
- tiltak for å redusere mengde løs fiber/prelltap

## Presentasjon av prosjektdeltagerne



Inna Likhosherskaya

Student ved Høgskolen i Oslo og Akershus

Byggingeniørstudiet



Kalambayi Rodrigue Nyembwe

Student ved Høgskolen i Oslo og Akershus

Byggingeniørstudiet

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	1
Kreditering .....	2
Forord .....	3
Presentasjon av prosjektdeltagerne.....	4
Innholdsfortegnelse .....	5
1.0 Plastfiber og detonasjonslunter som et miljøproblem .....	7
1.1 Nedbryting av plastfiber .....	7
2.0 Makrofiber i sprøytebetong .....	8
2.1 Funksjon til makroplastfiber i sprøytebetong for bergsikring .....	8
2.2 Prelltap av sprøytebetong .....	9
2.3 Detonasjonslunter .....	9
3.0 Spredning av plastfibre og detonasjonslunter fra Norske tunnelanlegg til omliggende miljø.....	10
3.1 Transport av fiber via vannrenseanleggene .....	10
3.2 Deponering og fyllmasser.....	10
3.3 Restbetong, vask av betongbiler og blandere .....	11
4.0 Tiltak mot spredning av plastfibre og detonasjonslunter.....	12
4.1 Sil i vannrenseanlegg.....	12
4.2 Drensgrus.....	12
4.3 Siltposer.....	13
4.4 Siltgardiner .....	13
4.5 Lenser .....	13
4.5 Demning .....	13
4.6 Valg av fibertype.....	13
4.7 Redusert prelltap.....	14
5.0 Konklusjon .....	14
6.0 Referanser.....	16

VEDLEGG

Drensgrus som tiltak mot spredning av plastfiber via drensgrøfter i tunnel - Laborrietest.....17



## 1.0 Plastfiber og detonasjonslunter som et miljøproblem

Under arbeidet med T- forbindelsen ved Hellevik på Fosen ble det i perioder sluppet ut store mengder plastikk i form av plastfiberarmering og detonasjonslunter/skyteledninger. Saken ga prosjektet negativ omtale og ble i 2010 dekket av Haugesunds avis (1). Skyteledningene (Nonel-ledning) er gule og svært synlige. Plastfibre i sjø eller langs kysten kan imidlertid være vanskelig å få øye på dersom de ikke klumper seg sammen. Da skyteledninger ble sluppet ut i Hellevik, avdekket det samtidig problemet med utslipp av plastfiberarmering. Plastfiberarmering er lite synlige i fjæresteinene. Dette kan være årsaken til at utslippsproblemene av plastfiberarmering ikke har vært belyst tidligere.

Plast skader og tar livet av store mengder av dyr i havet. Dyr eller vannlevende arter kveles fordi de har spist plast som tetter luftveiene. Enkelte sulter ihjel etter at plast har satt seg fast i fordøyelsessystemet. I tillegg får disse dyrene en mettethetsfølelse etter å ha spist plast. Dette er fordi plast kan bli liggende i magesekken til sjøfugl. Etterhvert fylles magen opp med plast og sjøfuglene vil ha problemer med å få i seg næring.

Nedbryting av plastfiber tar flere hundre år. Dette avhenger av hvilke materialer de er laget av. På lang sikt kan plast forårsake store skader i naturen. Selv om plastgjenstander er brutt ned i små biter at de ikke er synlige, så ligger de ned i sedimentene eller svever blant plankton i vannet. Her fra kan de bli tatt i næringskjeden via organismer som finner maten sin her (2).

### 1.1 Nedbryting av plastfiber

Plastens nedbrytbarhet er avhengig av tilsetningsstoffer i platen. Som regel tilsettes tilsetningsstoffer for å unngå at platen brytes ned av UV- stråler. Bionedbrytbar plast kan produseres ved ikke å bruke disse tilsetningsstoffene eller ved å tilsette andre additiver som kan stimulere til raskere nedbrytning. Bionedbrytbar plast brytes ned som annet organisk materiale (3).

## 2.0 Makrofiber i sprøytebetong

### 2.1 Funksjon til makroplastfiber i sprøytebetong for bergsikring



**Figur 1: Sprøyting av betong i tunnel**

Sprøytebetong brukes i tunneler for å sikre fjelloverflaten. For å forbedre vedheft til fjellet og øke seigheten, tilsettes fiber som armering. Det finnes mange forskjellige fibertyper. Noen av disse er: Plastfiber, stålfiber, glassfiber, naturfiber og basaltfiber. Figur 2 viser eksempler på micro- og makrofibre. I Norge benyttes kun plast- og stålfiber som tilsetning til sprøytebetong for bergsikring. Fiberens effekt på betongens seighet vil avhenge av fibertype og -dose. Generelt øker seigheten med økende fiberdose.



**Figur 2: Eksempler på plast- og stålfiber**

Valg av fibermateriale avhenger blant annet av konstruktive egenskaper og pris. I de siste årene er det foretatt mange tester med plastfiber for bruk i sprøytebetong. Resultatene fra disse forsøkene i Norge har visst god kapasitet når det gjelder seighet. Bruk av plastfiber har dermed økt de siste årene.

Statens vegvesen har interne retningslinjer som stiller krav til bruk av plastfiber i sprøytebetong til sikring av undersjøiske tunneler, Håndbok 025 Prosesskode 1 – Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter (2007), prosess 33.4. Kravet er stilt siden stålfiber vil kunne korrodere i et slikt miljø og føre til svekkelse av konstruksjonen. Forøvrig velger entreprenøren fritt om det skal brukes stål eller plastfiber.

## 2.2 Prelltap av sprøytebetong



**Figur 3: Prelltap**

Under betongsprøyting preller en del sprøytebetong av fjellet og faller ned på sålen i tunnelen. Disse partiklene utgjør prelltapet.

Mengde tilsatt plastfiber øker med betongens energiabsorpsjonsklasse. Jo høyere energiabsorpsjonsklasse, jo større er plastfibermengden som må tilsettes betongblandingen. Høye fibermengder kan resultere i fiberballing og økt prelltap. Plastfiber har en lav egenvekt (0,90-0,92 g/cm<sup>3</sup>) sammenlignet med stål (7,8 g/cm<sup>3</sup>) (4)(5). Energiabsorpsjonsklasse E1000 innebærer dermed relativt store mengder plastfiber. Dette kan innebære mye prelltap og balling av fiber.

Det regnes ikke fratrukk i volum for prelltap inntil 10 %. I dag er prelltapet normalt 5 % eller lavere.

## 2.3 Detonasjonslunter

En detonerende lunte er en tynn, bøyelig slange med en eksplosiv kjerne (PETN, Pentaerythritol Tetranitrate)<sup>1</sup>. Slangene er isolert med plast og flyter lett på vann. Detonasjonslunter, også kjent som skyteledninger eller Nonel-slanger, brukes på mange store veganlegg i dag.(6)

### 3.0 Spredning av plastfibre og detonasjonslunter fra Norske tunnelanlegg til omliggende miljø

Plastfiber fra prelltapet vil enten

- bli liggende på tunnelsålen og fraktet ut av tunnelen sammen med sprengsteinsmassene
- følge drivevannet (på grunn av lav egenvekt) og akkumulere i grøftesystemet
- transporteres med drivevannet til renseanlegget

Disse alternativene beskrives nærmere i de følgende avsnittene.

#### 3.1 Transport av fiber via vannrenseanleggene

Siden plastfiber flyter, akkumuleres den i grøfter og kan bli pumpet ut av tunnelen via renseanlegget sammen med drivevannet. Under optimale forhold og dermed normale prelltapmengder, vil kun en liten andel av de løse fibrene bli fraktet gjennom renseanlegget. Hoveddelen av fibrene følger sprengsteins- og tunnelmassene som enten gjenbrukes eller deponeres. Økt mengde prelltap og løs fiber på tunnelsålen vil imidlertid medføre økt mengde fiber som transporteres gjennom renseanlegget.

Eksempler på utforming, drift og vanntransport gjennom to typer renseanlegg er gitt i notatet «Vannrenseanleggene til tunnelanleggene ved Ringveg Vest og Holmestrand – Utforming og ytelse» av Likhosherskaya og Nyembwe (2012). (7)

#### 3.2 Deponering og fyllmasser

Ved sprenging vil rester av detonasjonslunter og fiber med prelltap ligge sammen med steinmassene. Massene blir brukt til ulike formål. Eksempel er utfylling på land og bygging av veger. I tilfeller hvor massene blir benyttet til utfylling på land, blir plastikken liggende i ro inne i fyllingen. I de tilfeller hvor massene blir benyttet til utfylling i sjø vil vannet vaske ut plastikken. Utvasking og spredning av fibre og detonasjonslunter avhenger av mottakenes beliggenhet og eksponering for vann.

Figur 4 viser et midlertidig deponi og av sprengsteinsmasse i sjø. Massene inneholder både sprengstein, prelltap og detonasjonslunter. Massene ligger fritt langs kysten hvilket innebærer fare for fiberspredning som følge av utvasking, vind og regn. Figur 5 viser fibre og detonasjonslunter som har flytt opp fra utlagte masser.





**Figur 4: Utlegging av sprengsteinmasser i vann samt midlertidig deponering på land**



**Figur 5: Plastfiber og detonasjonlunter som er vasket ut av utlagte masser**

### **3.3 Restbetong, vask av betongbiler og blandere**

Trolig stammer fiber i sjø i liten grad fra restbetong og vask av betongbiler og blandere. Kun renne til blandebil spyles på anleggsplassen. Restbetong skal leveres tilbake til betongleverandør for gjenbruk



eller støp av betongprodukter (Justnes 2005, Skjølvold)(8). Prosjektet har ikke undersøkt i hvor stor grad betong- og betongelementfabrikker har utslipp av plastfibre til sjø fra sine produksjonsanlegg.

## 4.0 Tiltak mot spredning av plastfibre og detonasjonslunter

### 4.1 Sil i vannrenseanlegg

Vannbårne fibre kan ødelegge renseanleggets pumpe og blokkere rør. For å skille ut fibrene som følger avløpsvannet kan det monteres sil i renseanlegget. Et eksempel på dette er vist i Figur 9.



Figur 6: Sil for utskilling av plastfibre (9)

### 4.2 Drensgrus

Denne metoden handler om hindre spredning av plastfiber fra tunnelsålen til vannrenseanlegget. Prelltapet av sprøytebetong faller ned i grøftene og når det tilføres drift- og, eller lekkasjevann vil fibrene samles i dreneringen. For australske tunnel- og gruveanlegg benyttes drensgrus for å immobilisere fiber i grøftene ved sprøyteområdet. Det ingen nøyaktige spesifikasjoner for grusen. Trolig benyttes sprengstein til dette formålet. Generelt sett består tilslaget av 20 til 10 mm med begrenset innhold av mindre størrelse.(10)

Drensgrus er ikke testet ut som middel for fibermobilisering i norske tunnelanlegg. Innledende laboratoriestudier gjennomført sommeren 2012 (Vedlegg 1) tyder imidlertid på at drensgrus virker tilfredsstillende med hensyn til immobilisering av plastfiber. Studiet viste at formen på steinene og steinoverflaten har stor betydning for fiberspredning. Grus med grovere overflate var mer effektiv enn grus med glattere overflate. Det viste seg også at jo tykkere lag med grus man har, jo bedre fungerer grusen. Lagtykkelse spiller en stor rolle og må vurderes spesielt i forhold til hver enkel grusgradering og fiberdimensjon. Det kan godt benyttes grove fraksjoner av sprengsteinmasser.

### 4.3 Siltposer

Siltposer kan kobles til utløpet av rensanlegget. Posene skal sørge til å holde tilbake finere partikler og antakelig også plastfibre som klarer å passere foregående trinn. Siltposene må følges opp med hensyn til sprekker og revner og hvor fort de blir fulle.

### 4.4 Siltgardiner

Siltgardiner har blitt benyttet som tiltak for å begrense spredning av suspendert stoff og plast i form av fibre og detonasjonslunter. Det viser seg at siltgardin er dårlig egnet for hindring av fiberspredning på vannoverflaten. Det kan være vanskelig å holde gardinen stabil over vannoverflaten siden den vil bli påvirket av belastninger ved tipping av stein i nærliggende sjø, tidevann, vind og begroing. Både T-forbindelsen og Ringveg Vest erfarte at plasten drev forbi utlagt siltgardin og ble ført med strøm til nærmeste strandsonen. En nødløsning ved ikke-fungerende siltgardin er manuell opprydding fra båt og langs strandsonen. Denne metoden er lite effektiv og relativt kostbar (38 000 NOK for 40 timer).

### 4.5 Lenser

Lenser, muligens i to lag bak hverandre med en viss avstand, kan trolig være mer egnet enn siltgardin for å hindre spredning av fiber. Forholdsvis hyppig oppsamling av plastrester vil være nødvendig, noe avhengig av væreforhold.

### 4.5 Demning

En demning er et tiltak som ble utarbeidet ved tunnelprosjektet Ringveg Vest hvor fiberspredning til det nærliggende Liavannet var et problem. Demningen er laget av sprengsteinmasser fra anlegget. Vannet strømmer mot demningen hvor plastfibre, detonasjonslunter og annen søppelen tilbakeholdes. Det er lagt rør på undersiden av demningen slik at vann kan renne gjennom. Demningen tømmes regelmessig for avfall. Denne løsningen er meget effektiv og virker 100 %. Demningen er vist i Figur 6.



Figur 7: Demningen på Liavannet.

### 4.6 Valg av fibertype

Fibertypen vil påvirke mengde prelltap og i hvor stor grad løse fibre transporteres med vann. Betong med høy energiabsorpsjon vil kreve mye fiber. Energiabsorpsjonsklasse E1000 kan gi opphav til

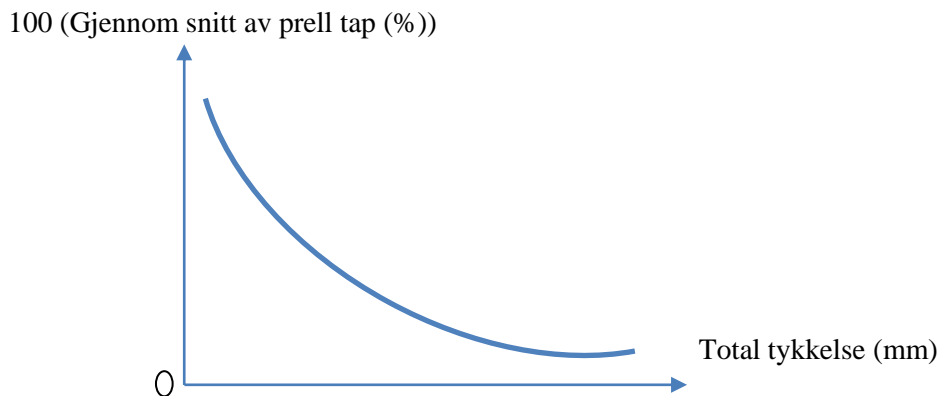
fiberballing og økt prelltap om plastfiber med lav densitet benyttes. Fiber med relativt høy densitet bør dermed velges for slike klasser. Økt fiberdensitet vil redusere total fibermengde og fibrenes oppdrift i vann.

Det kan også vurderes om stålfiber kan brukes i starten av tunnelarbeidet og et stykke ned mot kote 0. Dette ville redusert mengden plastfiber i steinmassene fra tunnelen.

#### 4.7 Redusert prelltap

Prelltapet kan påvirkes ved bruk av noen parametere. En av de parametere er sprøyteteknikk. Ved sprøyteteknikk er det viktig at man passer på: Sprøyteposisjon, -vinkel, og -tykkelse. Det skal alltid sprøytes rett på overflaten for å minke prelltapet. Videre er avstanden fra overflaten viktig: Jo kortere avstand man har fra sprøyteoverflaten, jo større blir prelltapet.

Ved sprøyting av betong blir det mye prelltap på begynnelsen av prosessen som visst på Figur 7.



**Figur 8: Prelltap som funksjon av sprøytet betongtykkelse. (11)**

#### 5.0 Konklusjon

Hovedproblemet med plastfiber i naturen er at nedbrytningsprosess tar meget lang tid. Med tiden deles de fiberstykkene i små partikler. Fugler, fisk, plankton og mange andre arter tar til seg dette som næring. Plast kan dermed akkumuleres i næringskjeden.

De fleste fibre som ender opp langs sjø- eller kystsone stammer fra tunnelmasser. Tunnelmasser kan deponeres, benyttes til utfylling i sjø eller ved bygging av nye veier. I de tilfeller hvor massene blir benyttet til utfylling i sjø vil vannet vaske ut plastikken. I tilfeller med mye prelltap og løs fiber, vil også noe fiber følge drivevannet gjennom vannrenseanlegget.

Miljøproblemet kan løses ved bruk av andre fibertyper med densitet høyere enn vann. Fibrene vil dermed ikke flyte til vannoverflaten og fraktes med vind og sjøstrømmer om tunnelmasser gjenbrukes for utfylling ved eller i sjø.

Fiberspredning kan minkes betydelig med sortering av tunellmassene. Masser med prelltap og plastfiber med lav densitet kan gjenbrukes som fyllmasser over vann. Masser uten fiber kan gjenbrukes over eller under vann, avhengig av prosjektets behov. Disse massene bør lagres hver for seg i deponiet. Det vil da være lettere å sikre mot spredning av fiber.

For å hindre transport av fibre gjennom vannrenseanlegget kan man montere en sil i tilknytning sedimentasjonsenheten for å skille ut fibrene. Eventuelt kan siltposer kobles til utløpet av et renseanlegg. Denne løsningen vil imidlertid ikke skåne pumpene for løs eller ballet fiber. Utlegging av grus eller sprengsteinsmasser i grøftene kan også være tiltak som immobiliserer fiberen. Denne løsningen vil imidlertid kun ha en effekt om disse massene ikke senere legges ut i sjø.

Flere prosjekter har erfart at siltgardin ikke er en effektiv løsning for å hindre spredning av fiber. Dette fordi fiber lett flyter på oversiden av gardinen og kan fraktes store strekninger med vind og vannstrømmer. Trolig vil lenser, gjerne i to lag, være et mer effektivt tiltak.

Det er viktig at man allerede i planleggingsfasen av prosjektet utarbeider tiltak mot spredning av plastfiber fra anlegget. Byggherre og entreprenør må selv finne løsninger som passer deres behov i forhold til det gitte anlegget. Et eksempel på dette er sprengsteinsdemningen som ble lagt ut i enden av resipientvannet ved Ringvei Vest. Plastfiber og en annen søppel ble samlet på demningens ene side. Denne løsningen var meget god, men vil ikke egne seg for alle anlegg.

## 6.0 Referanser

---

- (1) <http://www.h-avis.no/nyheter/kakefest-med-bismak-1.5398816>
- (2) Hals P.I., Standak E., Riisberg I., Syvertsen E.E., Kroglund M., Bretten A., (2011) «Kunnskap om marint søppel i Norge 2010», Klif-rapport TA 2753, <http://www.klif.no/publikasjoner/2753/ta2753.pdf>
- (3) <http://www.posen.no/biologisk-nedbrytning-av-plast-i-naturen>
- (4) <http://www.nmwinc.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/pdfs.pdf>
- (5) [http://www.elastoplastic.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=229&Itemid=133](http://www.elastoplastic.com/index.php?option=com_content&view=article&id=229&Itemid=133)
- (6) <http://josefmeissner.com/en/explosives/detonation-cords.html>
- (7) Likhosherskaya I., Nyembwe K.R. (2012) Vannrenseanleggene til tunellanleggene ved Ringveg Vest og Holmestrand – Utforming og ytelse, NORWAT-notat
- (8) Justnes H. (2005) Innvirkning av betong, vaskevann og –slam på miljøet ved deponi og muligheter for gjenbruk, SINTEF Rapport STF50 F05205
- (9) [www.elastoplastic.com](http://www.elastoplastic.com) (EPC Mine Dewatering Management Procedures).
- (10) Bernard S. (2012) personlig kommunikasjon med Per Hagelia
- (11) [https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/6975/ubc\\_1994-953098.pdf?sequence=1](https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/6975/ubc_1994-953098.pdf?sequence=1)

## 7.0 Andre kilder

Skjølvold O., Veiledning for behandling av restmaterialer ved betongproduksjon, SINTEF Rapport SBF BK F07014,  
<http://www.fabeko.no/oslo/fabeko.nsf/id/130EB3F719BE71EAC125775E002889C5?OpenDocument>

Teknisk rapport 09: «Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg». Norsk forening for fjellsprengningsteknikk.

Norsk Betongforening nummer 3 og Norsk Betongforening nummer 7

<http://ryddenstrand.no/2012/07/04/nye-bevis-fugler-tror-at-plast-er-mat/>

<http://www.dirnat.no/content/500042088/Marint-soppel>



---

# VEDLEGG

---

# Drensgrus som tiltak mot spredning av plastfiber via drensgrøfter i tunnel - Laboratorietest

---

## **Sammendrag**

Prelltap fra sprøytebetong faller ned i tunnelgrøftene og når det tilføres drift- og, eller lekkasjevann vil fibre samles i dreneringen. For australske tunnel- og gruveanlegg benyttes drensgrus for å immobilisere fiber i grøftene ved sprøyteområdet. Det er ingen nøyaktige spesifikasjoner for grusen. Trolig benyttes sprengstein til dette formålet. Generelt sett består tilslaget av 20 til 10 mm med begrenset innhold av mindre størrelse. Drensgrus er ikke testet ut som middel for fibermobilisering i norske tunnelanlegg. Et innledende laboratoriestudie ble derfor gjennomført sommeren 2012.

Studiet tyder på at drensgrus virker tilfredsstillende med hensyn til immobilisering av plastfiber. Formen på steinene og steinoverflaten har stor betydning for fiberspredning. Grus med grovere overflate var mer effektiv enn grus med glattere overflate. Det viste seg også at jo tykkere lag med grus man har, jo bedre fungerer grusen. Lagtykkelse spiller en stor rolle og må vurderes spesielt i forhold til hver enkel grusgradering og fiberdimensjon.

---

## Innhold

<a href="#">Sammendrag</a> .....	1
<a href="#">1 Innledning</a> .....	3
<a href="#">2 Eksperimentelt</a> .....	3
<a href="#">2.1 Materialer</a> .....	3
<a href="#">2.2 Metode</a> .....	6
<a href="#">2.2.1 Forsøksrenne</a> .....	6
<a href="#">2.2.2 Påføring av vann</a> .....	6
<a href="#">2.2.3 Registrering av fiber</a> .....	7
<a href="#">2.3 Forsøk</a> .....	7
<a href="#">3 Resultater og diskusjon</a> .....	7
<a href="#">4 Beskrivelse av testutgjørelse</a> .....	9
<a href="#">4.1 Grusgradienten 11-16A</a> .....	9
<a href="#">4.2 Grusgradienten 11-16B</a> .....	10
<a href="#">4.3 Grusgradienten 8-11</a> .....	10
<a href="#">5 Konklusjon</a> .....	11
<a href="#">6 Referanser</a> .....	11

---

## 1 Innledning

Sprøytebetong brukes i tunneler for å sikre fjelloverflaten. For å forbedre vedheft til fjellet og øke seigheten, tilsettes fiber som armering. I Norge benyttes plast- og stålfiber som tilsetning til sprøytebetong for bergsikring. Fiberens effekt på betongens seighet vil avhenge av fibertype og -dose. Generelt øker seigheten med økende fiberdose.

Under betongsprøyting preller en del sprøytebetongen av fjellet og faller ned på sålen i tunnelen. Disse partiklene utgjør prelltapet. Store fiberdoser kan dermed innebære balling av fiber og mye prelltap. Plastfiber har en lav egenvekt (0,90-0,92 g/cm<sup>3</sup>) sammenlignet med stål (7,8 g/cm<sup>3</sup>). Løs plastfiber vil dermed flyte på vann i grøfter og pumpe-sumper. Disse kan skape problemer for pumpene til vannrenseanlegget.

For australske tunnel- og gruveanlegg benyttes drengsgrus for å immobilisere fiber i grøftene ved sprøyteområdet. Det er ingen nøyaktige spesifikasjoner for grusen som benyttes, men generelt sett består tilslaget av 20 til 10 mm med begrenset innhold av mindre størrelser (1).

For å teste ut effekten av drengsgrus for immobilisering av løs fiber ble det sommeren 2012 gjennomført laboratorieundersøkelser av Inna Likhosherskaya og Kalambayi Rodrigue Nyembwe, begge byggstudenter ved Høyskolen i Oslo. Hedda Vikan og Per Hagelia (Vegdirektoratet) har veiledet oppgaven. Følgende rapport er en sammenstilling av konklusjoner trukket fra disse laboratorieundersøkelsene.

## Ekspérimentelt

### Materialer

Tre forskjellige grustyper ble benyttet for å undersøke effekten av partikkelstørrelse og kornform på tilbakeholdelse av fiber: Følgende grustyper ble undersøkt:

- 1. 11-16 A:** Grus med kornstørrelse fra 11 til 16 mm i kubisk eller manglekantet form med grov overflate (se Figur 1).
- 2. 11-16 B:** Grus med kornstørrelse fra 11 til 16 mm. Denne grustypen er flatere enn (11-16 A) og den har flere spisse flater. Overflaten er relativt glatt (se Figur 2).
- 3. 8-11:** Grus med kornstørrelsen fra 8 til 11 mm. Steinene er enda smalere enn i de to forrige grustypene. Steinene har kubisk eller manglekantet form med grov overflate (se Figur 3).



Figur Feil! Bare hoveddokumentet.: **Grustype 11-16A**



Figur Feil! Bare hoveddokumentet.: **Grustype 11-16B**



Figur Feil! Bare hoveddokumentet.: **Grustype 8-11**



---

**Det ble brukt to typer plastfiber i forsøkene.**

1. Sika Fiber LHD50/40PE. Plastfiber med egenvekt på  $1,36 \text{ kg/dm}^3$  og lengde på 40mm. Dette er en type av syntetisk makrofiber med høyere egenvekt/densitet enn tradisjonelle PP-baserte fibre. Denne fibertypen vil dermed ikke flyte like lett på vannoverflaten som BarChip SHOGUN. Dette er vist i Figur 6.
2. BarChip SHOGUN. Plastfiber med egenvekt på  $0,90 \text{ kg/dm}^3$  og lengde på 48mm. Dette er en av de vanligste plastfibertypene som brukes i Norge.



Figur 4: Plastfiber Sika Fiber LHD50/40PE.



Figur 5: Plastfiber BarChip SHOGUN.



Figur 6: Plastfiber Sika Fiber LHD50/40PE med egenvekt på  $1,36 \text{ kg/dm}^3$  ligger på bunnen, mens den andre BarChip SHOGUN med egenvekt på  $0,90 \text{ kg/dm}^3$  flyter på vannoverflaten.

---

## Metode

### Forsøksrenne

Det ble laget en 150 cm lang og 50 cm bred renne for å simulere en tunnelgrøft. Ved utløpet av renna ble det plassert en plastkasse for å samle opp grus og fibre som ble transportert med vannet. Grus ble godt fordelt over hele rennens lengde. Deretter ble plastfiber godt spredt over grusoverflaten.



Figur 7: Forsøksrenne med grus

Det ble også gjennomført forsøk med skråstilt renne. I dette forsøket ble renna lagt på en tube for å oppnå en helning på ca.  $10^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ . Dette ble gjort for å se på plastfiberspredning fra en skrå overflate. Grunnen til det er at tunnelsålen er relativt ujevn under anleggsperioden.



Figur 8: Skråstilt renne.

---

### Påføring av vann

Grus med plastfiber på ble tilført en kraftig vannstrøm i samme retning men fra forskjellige posisjoner i  $60 \pm 10$  sekunder. Vannet ble påført ved hjelp av en vannslange fra den ene enden av renna som vist på figur 9.



Figur 9: Forsøksrenne med grus og fiber ved påføring av vann.

### Registrering av fiber

Til slutt ble fiber som hadde fulgt vannet ned i kassen samlet, tørket og veid. Prosentvis utvasking av fiber ble beregnet.

### Forsøk

Forsøksmatrisen er vist i Tabell Feil! Bare hoveddokumentet..

Følgende forhold vil avvike fra reelle forhold i en tunnel:

1. Vannhastigheten ble ikke oppgitt nøyaktig. Den kan avvike betydelig fra tunnelvannets hastighet.
2. Fiber fra prelltap vil være dekket med et tynt sementlag og dermed være noe tyngre enn rene fibre som ble benyttet i disse forsøkene. Rene fibre som benyttet i disse forsøkene kan trolig i større grad transporteres av vann enn fiber fra prelltap.

Tabell Feil! Bare hoveddokumentet.: Forsøksmatrise

Nr.	Fibertype	Helning av renne (°)	Grustype	Mengde grus(kg)	Lagtykkelse på grus (mm)	Fibermengde (g)	Fibermengde (dm <sup>3</sup> )
1	Sika Fiber LHD50/40PE	0	11-16 A	25	30	250	0,18
2		10-15	11-16 A	25	30	250	0,18
3		0	11-16 A	50	60	500	0,37
4		10-15	11-16 A	50	60	500	0,37
5		0	11-16 B	25	30	250	0,18
6		10-15	11-16 B	50	60	500	0,37
7		0	8-11	25	30	250	0,18
8		0	8-11	50	60	500	0,37
9	BarChip SHOGUN	10-15	11-16 A	50	60	324	0,36
10		10-15	11-16 B	50	60	324	0,36
11		10-15	8-11	50	60	324	0,36

## Resultater og diskusjon

Resultater fra forsøkene er sammenfattet i Tabell 2.

Tabell Feil! Bare hoveddokumentet.: Resultater

Nr.	Fibertype	Helning av renne (°)	Grustype	Mengde grus(kg)	Fibermengde (dm <sup>3</sup> )	Mengde utvasket fiber (g)	Mengde utvasket fiber (%)
1	Sika Fiber LHD50/40PE	0	11-16 A	25	0,18	2,5	1
2		10-15	11-16 A	25	0,18	42	16,8
3		0	11-16 A	50	0,37	22	4,4
4		10-15	11-16 A	50	0,37	22	4,4
5		0	11-16 B	25	0,18	81	32,4
6		10-15	11-16 B	50	0,37	26	5,2
7		0	8-11	25	0,18	≤ 80	40-50
8		0	8-11	50	0,37	-	20-30
9	BarChip SHOGUN	10-15	11-16 A	50	0,36	15	4,6
10		10-15	11-16 B	50	0,36	16	4,9
11		10-15	8-11	50	0,36	106	32,7

### Effekt av grus 11-16 A

#### Sika Fiber LHD50/40PE

Det var nesten ingen spredning av plastfiber under forsøk nr. 1. Det sees av Figur 10 at kun få plastfibre ble liggende på kassens bunn. Det ble observert at fiberen i løpet av forsøket akkumuleres i klumper og ikke fulgte vannet (balling). Det var lite eller ingen bevegelse i grusen og fiberen var immobilisert på steder i rennen hvor vanntrykket var lavest.

Forsøk nr. 1 og 2 viser at fibertransporten går mye raskere fra en skrå overflate. Grunnen til det er at laget av grus var alt for tynt og de små forandringene i overflatevinkel førte til en rask spredning av plastfiber.

Resultatene fra forsøk nr. 3 og 4 viser at tykkere gruslag gir bedre immobilisering av fibre. Fiberspredningen var veldig liten og rennens helning hadde ikke stor betydning. Figurene 12 og 13 viser at plastfibre stort sett samlet seg i enden av rennen og ved rennens vegger.





Figur 10: Fibertapet på kassebunnen etter 1. forsøk.



Figur 11: Akkumulering av plastfiber (1.forsøk)



Figur 12: Akkumulering av plastfiber etter 3. forsøk.



Figur 13: Forsøk N9 med plastfiber BarChip SHOGUN.

### Effekt av grus 11-16 B

I forsøkene med grus 11-16 B ble relativt høy utvasking av fibre observert. Grunnen til dette er trolig at grusen har en avlang form og en relativt glatt steinoverflate. Vannet beveger seg lett gjennom steinene og tar med seg plastfiber over den glatte overflaten.



Figur 14: Plastfibrene som ble spredt under 5. forsøk.



Figur 15: Lagtykkelsen med grus er 60 mm.

### Effekt av grus 8-11

Graderingen av grus 8-11 var for liten i forhold til fiberdimensjonene. Grusen var også lett bevegelig av vannet sammenlignet med de to andre grustypene. Derfor er det stor bevegelse av plastfiberen under forsøket. Under forsøkene 7, 8 og ble det observert utvasking av både fiber og grus.

### Effekt av fibertype og fibermengde

Resultatene fra forsøkene med de forskjellige fibertypene samsvarer med hverandre. Forsøk 9 ble utført med bruk av plastfiber BarChip SHOGUN på et tykt gruslag. Resultatet samsvarer med resultatene fra forsøk nr. 3 og 4 hvor SIKA Fiber ble benyttet.

Økt fibermengde resulterte i redusert fiberutvasking, selv når rennen hadde helning på 10-15°. Dette skyldes trolig balling av fibre, som visst på figur 16.



Figur 16: Fiberfordeling på grusen etter vanntilførsel i 6. forsøk.



Figur 17: Spredt plastfiber (10. forsøk).

---

## Konklusjon

Drensgrus immobilisering av plastfiber under påføring av vann. Formen på steinene og steinoverflaten har stor betydning for fiberspredningen. Den grovere overflaten og kubisk formen av 11-16 F stanset fiberspredning bedre enn grus 11-16 B som har en mer avlang og glattere overflate. Ellers viste grusgradering 8-11B dårlige resultater på grunn av liten partikkelstørrelse, selv om steinene hadde grov overflate og kubisk form.

Det er bevist at jo tykkere lag med grus man har, jo bedre fungerer grusen. Lagtykkelse spiller en stor rolle og må vurderes spesielt i forhold til hver enkel grusgradering og fiberdimensjon.

## Referanser

1. Bernard S., personlig kommunikasjon med Per Hagelia (2012)



Statens vegvesen

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

ISSN: 1893-1162