Vegdirektoratet
Vegavdelingen
Tunnel og betong
29.01.2018

Statens vegvesen

Bruk av fiberbetong i kantdrager, Sandsgård g/s-bru

Bruk av ulike fibertyper som tillegg til vanlig armering

STATENS VEGVESENS RAPPORTER Nr. 427



Stian Persson

Statens vegvesens rapporter

NPRA reports
Norwegian Public Roads Administration

Tittel
Bruk av fiberbetong i kantdrager, Sandsgård g/s-bru

Undertittel
Bruk av ulike fibertyper som tillegg til vanlig armering

Forfatter
Ø. Bjøntegaard, S. Persson, T. Kanstad, B. Pedersen, A. Vatnar, E.L. Skare

Avdeling
Vegavdelingen

Seksjon
Tunnel og betong

Prosjektnummer
604277

Rapportnummer
Nr. 427

Prosjektleder
Øyvind Bjøntegaard

Godkjent av
Eva Rodum

Emneord
Fiberarmert betong, kantdrager, fastholding, rissfordeling

Sammendrag
Bruas kantdragere ble delt inn i 6 felt hvor det ble støpt en referansebetong uten fiber og fem betonger med ulike fibertyper. Det ble støpt ut terninger for fasthetsprøving og bjelker for prøving av bøyestrekkfasthet, og herdetempertur i kantdrager ble registrert. Senere registrering av fastholdingsriss i kantdrager viser at alle fibertypene synes å ha hatt en rissbegrensende effekt. Det er observert en del korroderte oppstikkende stålfibrer og overflatene er noe dårligere enn normalt. Det bør derfor beskrives spesielt at overflaten må avtrekkes nøye ved neste forsøk.
Det å støpe hele kantdrageren med en og samme fiberbetong, og ikke oppdelt i mange felt som her, vil være fordelaktig. Det kan samtidig vurderes å bruke fiber som erstatning for deler av stangarmeringen, eller om den kun skal fungere som tilleggsarmering.

Antall sider 13 + 7 vedlegg
Dato 29.01.2018

Title
Use of macro fibre in concrete bridge edge beams

Subtitle
Different macro fibre types as addition to normal reinforcement

Author
Ø. Bjøntegaard, S. Persson, T. Kanstad, B. Pedersen, A. Vatnar, E.L. Skare

Department
Roads Department

Section
Tunnels and Concrete

Project number
604277

Report number
No. 427

Project manager
Øyvind Bjøntegaard

Approved by
Eva Rodum

Key words
Fibre reinforced concrete, edge beam, restraint, crack distribution

Summary
The edge beams of the bridge were divided into 6 sections in which one reference concrete without fibre and five concretes with different fibre types were cast. Cubes for compressive strength and beams for flexural strength testing were cast, and the curing temperature in the edge beam was registered. Later observations of cracks due to restraint indicate that all fibre types have had a crack-reducing effect. Some steel fibres protrude the top surface, and the surface is also somewhat rougher than normal.
For later tests, specific focus on the finishing of free surfaces should be described. Here the edge beams were divided into many sections. To enhance more even production of fibre reinforced concrete the entire edge beam should be cast with the same concrete. Moreover, use of fibre as partly substitution for rebars (instead of addition as done here) could be considered.

Pages 13 + 7 appendices
Date 29.01.2018

Statens vegvesen

Innholdsfortegnelse

1. Bakgrunn 2
2. Kantdrager Sandsgård GS-bru og fiberbetongvarianter 4
   Kantdrager 4
   Volum-% fiberarmering 5
3. Prøveblandinger og måling av herdevarme 5
4. Gjennomføring; pumping og utstøping 6
5. Resultater fra feltforsøket 8
   Bøyestrekkfasthet 8
   Temperaturmålinger i kantdrager 8
   Registrering av riss og rissvidder 11
6. Oppsummering og videre arbeid 13
7. Referanser 13

Vedlegg

VEDLEGG 1 Arbeidstegning Sandsgård g/s bru 14

VEDLEGG 2 Notat fra prøveblandingene; Referansebetong og stålfiberbetong 15

VEDLEGG 3 Priseeksempler for de anvendte fibertypene 18

VEDLEGG 4 Analyseparametere, herdekasseforsøk 19

VEDLEGG 5 Huskeliste utarbeidet i planleggingsfasen 20

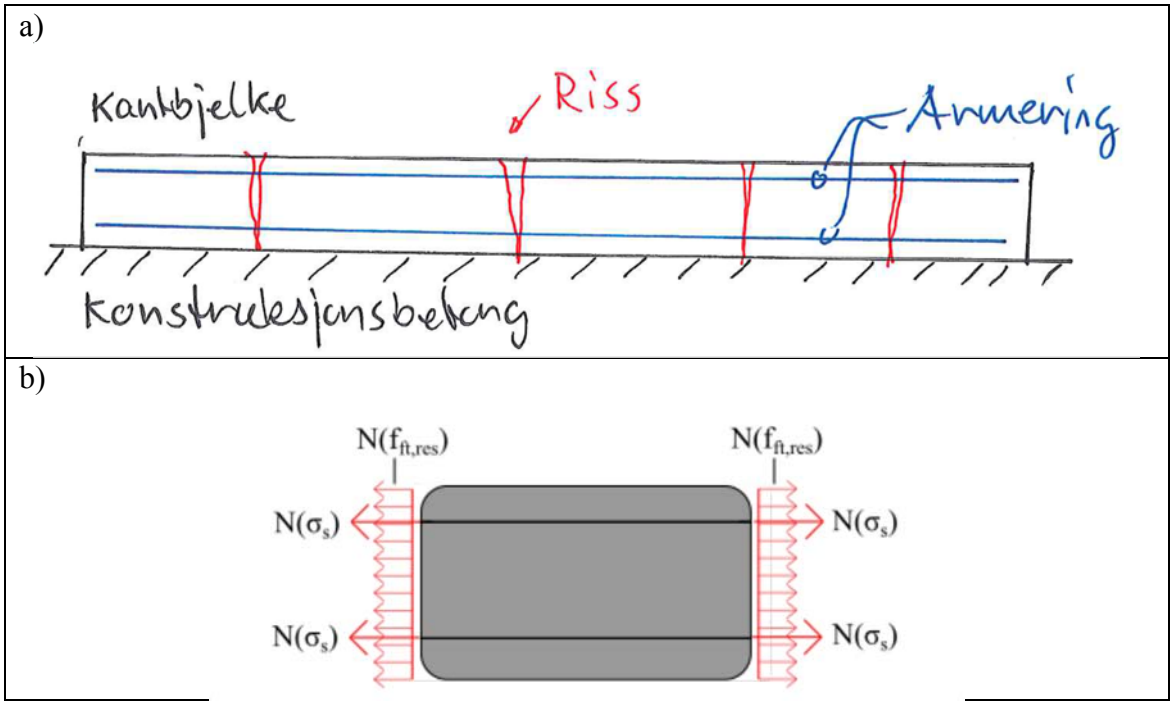
VEDLEGG 6 Fiberinnhold- og fiberfordeling for stålfiberbetongen 21

VEDLEGG 7 Bilder tatt i forbindelse med andre kartlegging av riss (24. mars 2017) 22

1. Bakgrunn

Det beskrevne feltforsøket i rapporten er et resultat av et initiativ fra Statens vegvesen Region vest (Rv), som har vært opptatt av problemstillingen «riss i kandragere» og som hadde flere forestående prosjekter og aktuelle bruer for feltforsøk på bruk av fiberbetong i kantdragere. Både NTNU og Tunnel og betongseksjonen i Vegdirektoratet (Vd) har gjennom en del år hatt FoU-aktiviteter på bruk av fiberbetong til ulike formål, og deltar også i et pågående bransjeprosjekt som har en delaktivitet på temaet (BiA-prosjektet DaCS; Durable Advanced Concrete Solutions, prosjekteier Kværner). Initiativet resulterte i et samarbeid mellom Bruseksjonen Region vest, entreprenøren Skanska, betongleverandøren Velde Betong, samt DaCS-prosjektet representert ved NTNU og Vd. Objektet ble 11-2427 Sandsgård gang- og sykkelbru i Sandnes (E39 Svegatjørn-Rådal). Før vi går til feltforsøket i de øvrige kapitlene gis nedenfor en innledning til tematikken.

Når kantbjelker/kantdragere støpes og herdner blir de 100% fastholdt i støpeskjøten mot det mye større brutverrsnittet. Den herdnende betongen utvikler svinn- og temperaturtøyninger. Disse differansetøyningene mellom kantdrageren og konstruksjonsbetongen gir etter hvert strekkspenninger i kantdrageren og ofte opprissing som illustrert i Figur 1a. De fastholdte tøyningene er i de fleste tilfeller for store til at riss kan unngås, og den beste løsningen er dermed å forsøke å begrense rissviddene ved hjelp av armering. Erfaring fra andre konstruksjonselementer har vist at en kombinert løsning med fiber og stangarmering er mer effektiv enn de to materialene hver for seg. Dette er illustrert i Figur 1b, og det er spesielt ved små rissvidder at fibrene bidrar mest.

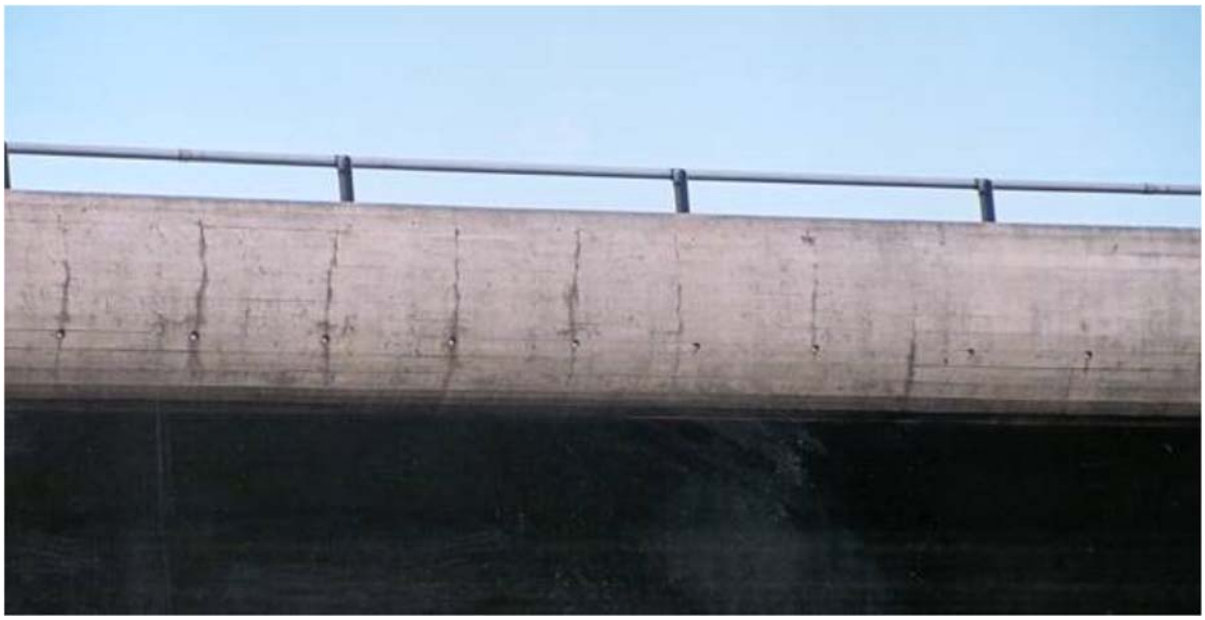


Figur 1 a) Problembeskrivelse, og b) virkemåte for kombinert løsning med stangarmering og fiberbetong

Ideen bak bruk av fiberbetong (dvs. med makro/konstruktiv fiber) i kantdrager er derfor å redusere omfanget av og størrelse på riss. Eksempler på riss i kantdragere på bruer er ikke vanskelig å finne; to eksempler er gitt i henholdsvis Figur 2 og Figur 3. Slike riss har åpenbart en negativ estetisk effekt. Rissenes effekt på bestandighet er et diskusjonstema, men det er å

anta at grove riss, evt. levende riss, kan fungere blant annet som kanaler for inntrenging av klorider.

Når det gjelder beregningsmetodikk og fiberbetong ble det i 2009 utarbeidet foreløpige retningslinjer for dimensjonering med fiberbetong [1] og en veiledning er nært forestående i form av en Norsk Betongforenings Publikasjon (nr. 38).



Figur 2 Eksempel på riss i kantdrager pga. fastholding fra det tidligere støpte brulegemet (foto: Steinar Helland)



Figur 3 Eksempel på riss i kantbjelke pga. fastholding fra det tidligere støpte brulegemet [2]

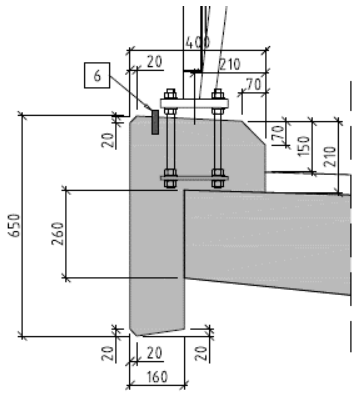
En kombinert løsning med stangarmering og fiberbetong er tidligere utprøvd i et fullskalaforsøk i laboratoriet ved NTNU [3][4]. Laboratorieforsøket bestod av en brumodell

(b/h/L=1,0/0,2/4,0 m) med kantbjelker (b/h=0,2/0,3 m). Opprissing av kantdragerne ble forårsaket av differansesvinn og herdevarme samt påført temperaturforskjell mellom konstruksjonsbetong og kantbjelker. De målte rissavstandene og rissviddene viste tydelig at tilsetning av polymer- og stålfiber ga reduserte rissvidder. For referansebetongen (bare stangarmering) var gjennomsnittlig rissvidde 0,17 mm, mens tilsetning av 0,7 vol% (6,5kg/m^3) macro polymerfiber (PP/plast) ga reduksjon til 0,06 mm rissvidde, mens 0,4 vol% (31 kg/m^3) stålfiber ga noe større reduksjon til 0,04 mm rissvidde.

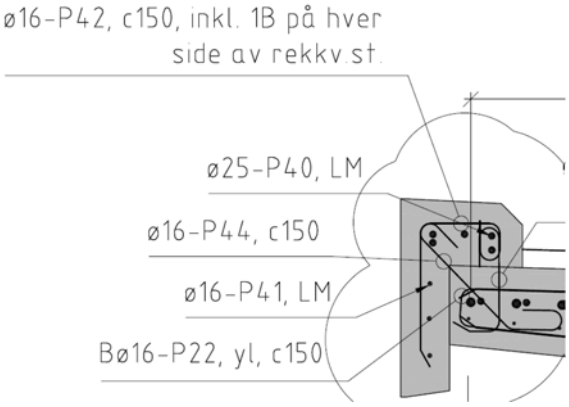
2. Kantdrager Sandsgård GS-bru og fiberbetongvarianter

Kantdrager

Kantdrager på Sandsgård GS-bru ble støpt den 17. mars 2016 kl. 09.00 – 17:00, se Figur 4 og Figur 5. Kantdrageren er en typisk utformet kantdrager som er mye brukt i Region vest. Bredden på kantdrageren i toppen er 400 mm siden dette er en GS-bru (tverrsnittsarealet er 0,15 m^2), mens det benyttes 520 mm i standard vegbruer (passer da til alle rekkverkstyper). Mengden stangarmering er bestemt ut i fra normal dimensjonering og betong uten fiber. Fiberarmering kommer i dette feltforsøket med andre ord som et tillegg til normal stangarmering.



Figur 4 Kantdrager, tverrsnitt og dimensjoner



Figur 5 Kantdrager, tverrsnitt og armering

Utstrekning og plassering av de forskjellige fiberbetongblandingene er vist på tegning gitt i VEDLEGG 1. Brua er 46 m lang og kantdrageren på hver side ble delt inn i tre felt, til sammen seks felt på 15 m. I de ulike feltene ble det planlagt brukt følgende betongvarianter (betongspesifikasjon B45 SV40, dvs. masseforhold ≤ 0,40):

1. Referansebetong, uten fiber
2. Betong med 40 kg/m^3 vanlig stålfiber (svartstål)
3. Betong med 35 kg/m^3 galvanisert stålfiber (+tilsetningsstoff)
4. Betong med 35 kg/m^3 rustfri stålfiber
5. Betong med 8 kg/m^3 macro polymerfiber (mengden måtte halveres ved støp, se kap.4)
6. Betong med 12 kg/m^3 ReforceTech MiniBar (basaltfiber)

Med unntak av galvanisert og rustfri stålfiber er alle fibertypene i testen typisk lagervare, se priseksempler i VEDLEGG 3.

Volum-% fiberarmering

Mengden fiber i de fem fiberbetongvariantene ble valgt ut i fra kriteriet at effekten på rissavstand og rissvidde skulle bli omtrentlig den samme. Videre er de valgte mengdene basert på erfaringer fra ulike FoU-prosjekter gjennomført hos NTNU og SINTEF.

Armeringsarealet av stangarmeringen er omtrent 1% av betongarealet, noe som tilsvarer minimumsarmering for ren strekkpåkjenning, se Figur 5. Til sammenligning tilsvarer de valgte fibermengdene følgende volum og areal%:

40 kg/m^3 vanlig stålfiber (L/d=50/1,0mm) 0,5 volum %, teoretisk areal: 0,17%

35 kg/m^3 galvanisert stålfiber (L/d=50/0,75mm) 0,45volum %, teoretisk areal: 0,15%

35 kg/m^3 rustfri stålfiber (L/d=50/0,75mm) 0,45volum %, teoretisk areal: 0,15%

4 kg/m^3 macro polymerfiber (Barchip) (L/d=50/1,1) 0,45 volum %, teoretisk areal: 0,15%. Dobbel mengde var planlagt, men mengden måtte halveres pga pumpeproblemer, se kap. 4.

12 kg/m^3 Reforcetech Minibars (Basalt) (L/d=43/0,65) 0,6 volum %, teoretisk areal: 0,2%.

Arealet av fiberarmering som krysser de enkelte rissene er derfor betydelig lavere enn arealet av stangarmeringen. Det teoretiske fiberarealet (det som krysser evt riss) er bestemt under forutsetning av isotrop fiberfordeling, og er derfor 1/3 av fibervolumet.

3. Prøveblandinger og måling av herdevarme

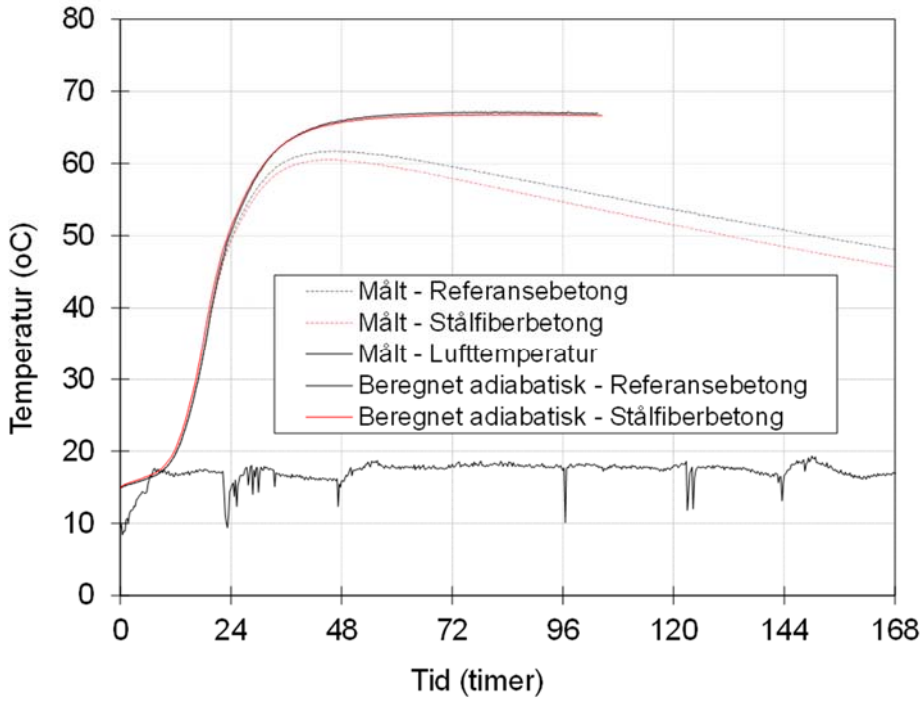
Det var i forkant av støpen gjennomført prøveblandinger med basisresept uten fiber, samt resept med vanlig stålfiber med tilfredsstillende resultat av Velde og Skanska, se vedlegg 2. Resepter med og uten fiber er identiske i kantdrageren (B45 SV40 med totalt 404 kg sement +silika, samt d_{max} 22 mm), dvs. det ble ikke gjort justeringer av tilslagskurve eller mengde sementpasta. Alle resepter er av vanlig vibrert type som ble pumpet fra bil.

Det ble ved prøvestøpen støpt ut 2 stk. herdekasser (hver 1 m^3) for registrering av herdevarme for hhv. referansebetongen uten fiber og stålfiberbetongen, se Figur 6. For referansebetongen ble det målt litt høyere temperatur i herdekassa, men beregningen av adiabatisk temperaturutvikling, i hht. [5], viser at isolasjonsgraden for denne herdekassa var litt høyere enn for herdekassa med stålfiberbetongen. Målt temperatur i herdekassene og beregnet adiabatisk temperaturutvikling er vist i Figur 7.

Beregnet adiabatisk temperatur- og isoterm varmeutvikling viser samme forløp for de to betongene, noe som er å forvente ettersom betongene har samme sement- og silikastøvinnhold (i sum 404 kg/m^3) og ellers samme delmaterialer og proporsjonering (med unntatt av stålfiberen). For begge betongene er adiabatisk temperaturøkning 52 °C og isoterm varmeutvikling etter 7 døgns modenhetsalder (Q_7) er 286 kJ/kg bindemiddel (og $Q_\infty \approx 300$ kJ/kg). Analyseparametere for herdekasseberegningene er gitt i VEDLEGG 4.



Figur 6 Herdekasseforsøk – Isolerte 1 m3 kasser før støp og under måling



Figur 7 Herdekasseforsøk – målt temperatur i de to herdekassene samt i luft, og beregnet adiabatisk temperaturforløp

4. Gjennomføring; pumping og utstøping

En liste over ulike punkter å huske til støpedagen er gitt i VEDLEGG 5. Det var på utstøpningsdagen sol og ca. 10 grader i luften. Det ble brukt pumpe/vibrator og herdemembran på toppen etter glatting, se Figur 8.

Blandingene ble utført som forutsatt med unntak av polymerfiber (PP). Det viste seg at betongen med 8 kg/m^3 PP-fiber ble tørr, klumpete og vanskelig å pumpe/støpe ut. Betongen plugget seg i pumpen og støpen ble avbrutt etter ca. 4 m støp. Det ble et opphold på ca. 2 timer i påvente av ny blanding med basalt for videre støp på denne delen. Det ble påvist lite luft i basaltblandingen (2,6%) og det ble tilsatt L-stoff på plassen. Dette resulterte i luftinnhold på ca. 10%. Betongen ble likevel brukt i fare for kaldskjøt mot PP-fiberblandingen. Resultatet i overgangen ble tilfredsstillende. PP-mengden ble siden halvert til

4 kg/m^3 for utstøping i ny del. Blandingen var da brukbar. I ettertid ser vi at betongen burde blitt blandet litt lenger på stedet og ny luftprøve tatt før L-stoff ble vurdert. Faren for kaldskjøt mot PP-blandingen med 8 kg/m^3 gjorde at vi forhastet oss.

Det ble igjen registrert plugg ved pumping av blandingen med galvanisert stål, men dette viste seg i ettertid å skyldes en løs bolt som førte til at pumpen måtte skiftes ut. Det ble et opphold i påvente av ny pumpe. Det er ikke belegg for å skylde dette på fiberblandingen.

Med unntak av de forhold som nevnt over ble det ikke registret noen problemer med noen av fibertypene og alle typene gikk greit gjennom pumpen. Generelt er fiberbetongen seigere og tyngre å pumpe, men det var fullt mulig. Det er viktig å få smurt pumpesystemet godt før den seige fiberblandingen sendes gjennom.

Det ble målt fiberinnhold og fiberfordeling på ett betonglass, dette var stålfiberbetongen med tilsiktet fibermengde 40 kg/m^3. Resultatene dokumenterte riktig fibertilsetning, se VEDLEGG 6.

Etter utstøping er det ikke iøynefallende forskjeller i ferdig overflate mellom fibertypene. Det vil være nødvendig å optimalisere betongresepten med tanke på 8 kg/m^3 PP for at denne skal bli pumpbar/støpbar. 4 kg/m^3 PP som brukt i utstøpingen er teoretisk for lite til å påvirke rissutviklingen.

Det ble målt herdetemperatur og fasthet i de ulike kantdragerfeltene, samt støpt ut bjelker for bøyestrekkfasthet for alle fiberbetongene. Temperaturloggingen ble sittende i betongen til over påske. Tester for bøyestrekkfasthet og herdekasser ble oversendt NTNU som grunnlag for beregninger.



Figur 8 Kantdrager før/under utstøping med pumpe/vibrator

5. Resultater fra feltforsøket

Bøyestrekkfasthet

Det ble støpt ut 3 bjelkeformer (150x150x600 mm, se Figur 9) for hver av de 5 fiberbetongene. De totalt 15 formene ble sendt betonglaboratoriet ved NTNU for prøving ved 28 døgns alder. Bjelkeformene ble støpt ut på brudekket; hver fiberbetong ble først pumpet oppi ei trillebår som ble trillet til utstøpingsstedet, deretter ble ei bøtte brukt til å helle betong oppi bjelkeformene, så stamping med synkstav, i to lag, til slutt glatting med mureskje.

Den mest aktuelle parameteren for fibrenes bidrag til reduserte rissvidder er reststrekkfastheten ved 0,5 mm rissvidde, og for de fem fibermaterialene ble denne bestemt til:

Ordinær stålfiber:	$f_{res} = 2{,}83$ N/mm^2
Galvanisert stålfiber:	$f_{res} = 1{,}40$ N/mm^2
Rustfri stålfiber:	$f_{res} = 1{,}17$ N/mm^2
Polymerfiber (4kg/m^3):	$f_{res} = 0{,}28$ N/mm^2,
Basaltfiber:	$f_{res} = 1{,}53$ N/mm^2

Erfaring tilsier at reststrekkfasthetene målt her er uvanlig høy for betongen med ordinær stålfiber, og mer normale for betongene med galvanisert og rustfri fiber. Resultatet for polymerfiber er spesielt lavt fordi tilsatt mengde fiber bare var halvparten av planlagt dosering.



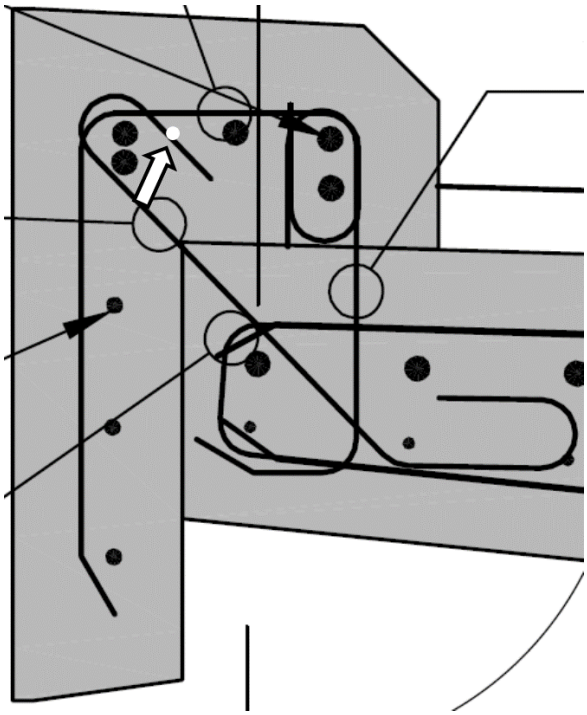
Figur 9 Produksjon og lagring med plastfolie av ferdigstøpte bjelker til bøyestrekkfasthet

Temperaturmålinger i kantdrager

Med termoelementer og loggere ble temperaturen i kantdrager målt for alle 6 betongvariantene. Plasseringen av termoelement er angitt i Figur 10. I tillegg ble lufttemperaturen målt på begge sidene av brua.

Plasseringen av termoelementene i de 6 kantdragerfeltene var sånn omtrentlig:

- Vertikal plassering: 12-13 cm over bruvinge
- Horisontal plassering: 15-17 cm fra ytterkant kantdrager
- Termoelementene var festet på Ø12 bøyle/krok



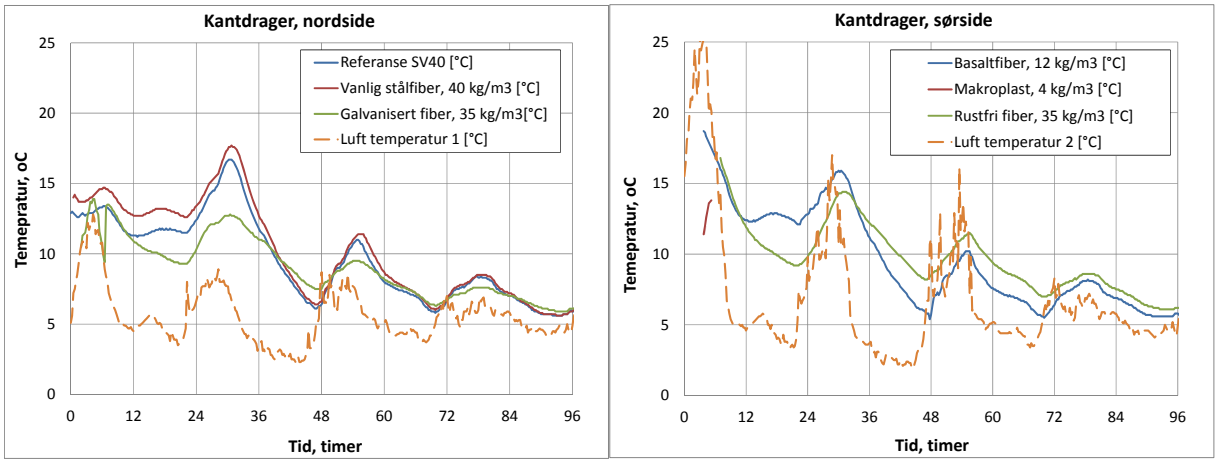
Figur 10 Plassering av termoelement på tegning, se hvit pil/sirkel



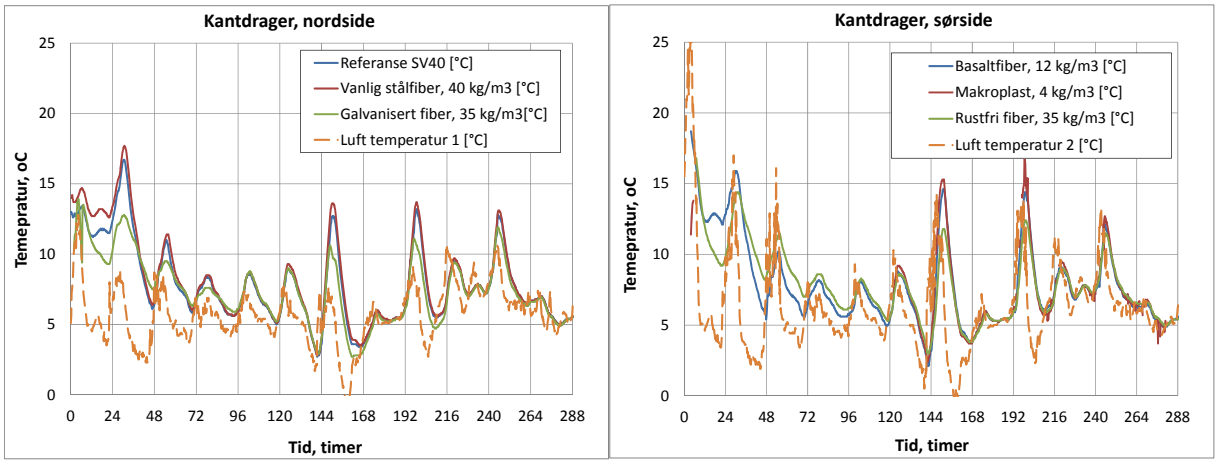
Figur 11 Plassering av termoelement i kantdrager

I kantdragerne ble det installert temperaturloggere i hvert av de seks feltene, og data ble logget fra utstøping og over ca 12 døgn. Det viste seg at temperaturøkningen etter utstøping pga herdevarmen var liten, bla. fordi lufttemperaturen sank i tiden etter støpingen. Spor av betongenes herdevarme kan likevel ses de første døgnene, se Figur 12 som viser de første 4 døgnene. Figur 13 viser alle temperaturdata over hele måleperioden på 12 døgn. Vi kan ellers merke oss at lufttemperaturen på bruas sørside er generelt noe høyere på dagtid enn på

nordsiden. De første 4 døgnene ligger lufttemperaturen på sørsiden i gjennomsnitt 1,4 °C høyere enn på nordsiden.



Figur 12 Målte temperaturer på nordsiden (venstre) og sørsiden (høyre) fra utstøping og de første 96 timene (4 døgn)



Figur 13 Målte temperaturer på nordsiden (venstre) og sørsiden (høyre) fra utstøping og ut måleperioden på 288 timer (12 døgn)

Til tross for relativt moderat temperaturstigning i kantdrager kan temperaturforskjellene mellom konstruksjonsbetong og kantdrager i dagene etter støping gi strekkspenninger i kantdrageren som er store nok til å bidra til opprissing. Dette skyldes blant annet at kantdrageren etter å ha utviklet stivhet de første par døgnene ved rundt 15 °C avkjøles til temperaturen i konstruksjonsbetongen (estimert til 5 °C), og denne temperaturforskjellen vil lett skape strekkspenninger i størrelsesorden 1,5-2,0 N/mm^2 når den utjevnes. Denne strekkspenningen får man ved å anta 10 °C avkjøling, en utvidelseskoeffisient på 0,01‰ og en effektiv E-modul på 15-20 GPa, og at kantdrageren er fullstendig fastholdt.

Registrering av riss og rissvidder

Støpingen av kantdragerne ble som tidligere nevnt gjennomført den 17. mars 2016

Det er til sammen gjort observasjoner av riss tre ganger etter støp:

1) En enkel befaring rett etter avforskaling 5. april, dvs. 19 dager etter støp
2) Første registrering 9. mai 2016, dvs. 53 dager etter støp
3) Andre registrering 24. mars 2017, dvs. 372 dager etter støp

Enkel befaring

Kantdragerene ble avforskalt etter påske og det ble under en enkel befaring 5.april ikke registrert riss. Det ble registret korrosjon på utstikkende fibre av stål og galvanisert stål, og overflatene for fiberbetongene var av noe dårligere kvalitet enn for referansebetongen og det som er mer normalt for betong uten fiber. Fiberbetong kan ha behov for ekstra oppmerksomhet under utstøping mht vibrering og avtrekking for å sikre god utstøping generelt og for å få «lagt ned» fiberarmeringen i overflaten. Rent estetisk vil overflater være mye mer synlig på en g/s-bru enn en vegbru, og det er mulig overflatetiltak/fibertype bør vurderes i denne sammenheng. Bilder fra befaringen er gitt i VEDLEGG 7.

Første og andre rissregistrering

Omfang av riss (antall og avstander) ved første registrering [4] viste relativt begrenset omfang av riss. Fra befaringen synes alle fiberbetongene å ha hatt en gunstig effekt. På feltet med basaltfiber var det ikke mulig å se et eneste riss, for de andre variantene var det svært lite opprissing. På referansefeltet ble det observert noen riss.

Ved andre registrering var det grunnet brorekkverket som var montert ikke mulig å komme til på ytterkant av kantdrageren. De registrerte rissene er derfor de som har utviklet seg på innerkant av kantdrager, altså enten på den vertikale delen som vender mot brodekket eller den horisontale flaten som rekkverket er festet i. Grovt sett har rissviddene økt omtrent med en faktor på 2 i forhold til første registrering. Det ble også oppdaget en rekke nye riss. Alle fibertypene synes å ha hatt en rissbegrensende effekt

En oppsummering av første og andre rissregistrering er gitt i tabellen under.

Tabell 1 Registrering av riss fra første og andre runde

Referansebetong, uten fiber	**Avstand fra landkar i vest**	**Første registrering, 53 dager**	**Andre registrering, 372 dager** Vertikal/ Horisontal
	2,9 m	Ikke funnet	0,05 mm/ X
Gjennomgående	14 m	0,075 mm	0,2 mm/ 0,2 mm
	15 m	0,12 mm	0,05 mm/ 0,05 mm *
Gjennomgående	16 m	0,1 mm	0,2 mm/ 0,2 mm

** Dette er trolig ikke samme riss. Eventuelt en målefeil eller at det er blitt notert ned feil verdier under innsamlingen av data.*

Galvanisert stålfiber	**Avstand fra landkar i vest**	**Første registrering, 53 dager**	**Andre registrering, 372 dager** Vertikal/ Horisontal
	16,80 m	Ikke funnet	0,05 mm/ 0,15 mm
	18 m	0,05 mm	0,05 mm/ 0,15 mm
	18,5 m	Ikke funnet	0,1 mm/ 0,05 mm
	32 m	Ikke funnet	0,05 mm / X
	34 m	Ikke funnet	0,05 mm / X
Stålfiber	**Avstand fra landkar i vest**	**Første registrering, 53 dager**	**Andre registrering, 372 dager** Vertikal/ Horisontal
Gjennomgående	36 m	0,05 mm	0,1 mm/ 0,1 mm
	36,6 m	Ikke funnet	0,05 mm/ 0,05 mm
	37,1 m	Ikke funnet	0,05 mm/ 0,1 mm
Gjennomgående	38,2 m	Ikke funnet	0,1 mm/ 0,1mm
	40 m	Ikke funnet	0,05 mm / X
Polymerfiber	**Avstand fra landkar i vest**	**Første registrering, 53 dager**	**Andre registrering, 372 dager** Vertikal/ Horisontal
	12 m	0,02 mm	X/ 0,5 mm
	13,5 m	0,05 mm	0,05 mm/ 0,05 mm
	14,9 m	Ikke funnet	0,05 mm/ 0,05 mm
Gjennomgående	15,8 m	0,05 mm	0,1 mm/ 0,2mm
Rustfri stålfiber	Avstand fra landkar i vest	9. mai 2016	20. mars 2017 Vertikal/ Horisontal
Gjennomgående	18 m	0,05 mm – 0,1 mm	0,1mm/0,2 mm
Basaltfiber	**Avstand fra landkar i vest**	**Første registrering, 53 dager**	**Andre registrering, 372 dager** Vertikal/ Horisontal
	34,8 m	Ikke funnet	0,075 mm/ X
	35,5 m	Ikke funnet	X/ 0,1 mm
Gjennomgående	36,1 m	Ikke funnet	0,05 mm/ 0,15 mm
Gjennomgående	38 m	0,02 mm	0,05mm/ 0,05 mm
	39,6 m	Ikke funnet	X/ 0,1mm

6. Oppsummering og videre arbeid

En av fem fiberbetonger ble prøveblandet og det ble antatt at alle fiberbetongene kunne produseres uten justering i forhold til referansebetongens resept. Dette fungerte ganske bra, men på støpedagen ble luftinnholdet en utfordring for en av fiberbetongene, og for en annen måtte fiberinnholdet halveres for å muliggjøre pumping/støping. Det normale forventes å være en viss reseptjustering for fiberbetong, og ulike fiberbetongvarianter kan med fordel prøveblandes og med visuell/konsistens/luft-kontroll etter relevant tid på betongbil.

Registrering av riss i feltforsøket med fiberbetong i kantdrager viser at alle fibertypene synes å ha hatt en rissbegrensende effekt. Det er observert en del korroderte oppstikkende stålfibrer og overflatene er noe dårligere enn normalt. Fiberbetong kan ha behov for ekstra oppmerksomhet under utstøping mht vibrering og avtrekking for å sikre god utstøping generelt og for å få «lagt ned» fiberarmeringen i overflaten.

Det å støpe hele kantdragen med en og samme fiberbetong, og ikke oppdelt i mange felt som her, vil være fordelaktig (større/jevn produksjon). På et senere tidspunkt vurderes det i et annet bruprosjekt å støpe en side med fiberbetong og en betong uten fiber som referanse. Det kan samtidig vurderes å legge inn mindre stangarmering (ø16 fremfor ø25 som var innlagt i dette forsøket) for å studere fiber som erstatning for deler av stangarmeringen, eller om den kun skal fungere som tilleggsarmering. Mindre stangarmering vil også gjøre utstøpingen av fiberbetongen enda enklere.

7. Referanser

[1] *Kanstad K., Juvik D.A., Vatnar A., Mathisen A.E. Sindre Sandbakk (SINTEF), Hedda Vikan (SINTEF), Eirik Nikolaisen (UMB), Åse Døssland (Multiconsult), Leirud N. og Overrein G.O. (2011) Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner. COIN Prosjektrapport 29-2011, SINTEF Building and Infrastructure, ISSN 1891-1978 (online), ISBN 978-82-536-1223-229 (pdf)*

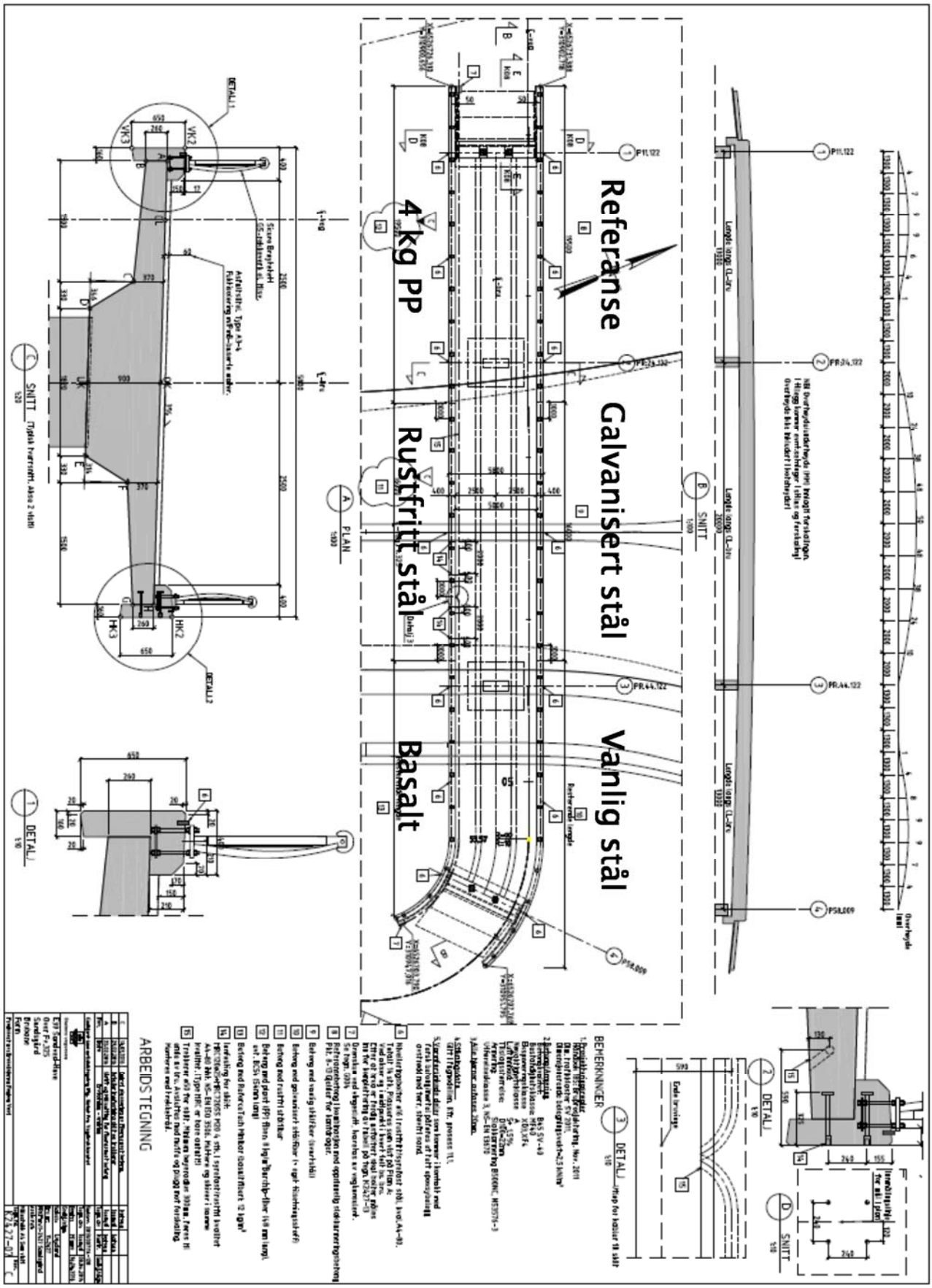
[2] *Skare E.L. og Stemland K.M. (2015) Kartlegging av rissdannelse i broer. NTNU-notat*

[3] *Skare E. L. (2015) Virkning av fiberarmering på rissutvikling i kantdragere: Laboratorieforsøk med fastholdingsriss. Prosjektrapport, Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU, Trondheim*

[4] *Skare E. L. (2016) The effect of fiber reinforcement on crack development due to restraint of concrete structures, MSc-thesis, Department of structural engineering, NTNU, Trondheim*

[5] *SINTEF Internprosedyre 140504-525 Herdekasse (2014)*

VEDLEGG 1 Arbeidstegning Sandsgård g/s bru, og betongvarianter i kantdrager



SKANSKA

Skanska Teknikk | Betongteknologiavdelingen Memo – E39 Hove - Sandve, prøveblanding SV40 med stålfiber, Velde Betong.

Utarbeidet av: Arne Vatnar

Dato: 04.03.2016

Utarbeidet for: Prosjektet

Revisjon: A

241010 E39 Hove - Sandve

I forkant av fullskalatest av SV40 betong med fiberinnblanding til kantdragere på Sandsgård G/S-bru, har det blitt utført prøveblanding hos Velde Betong. Målet har vært å vurdere fersk betong egenskaper og ikke minst pumpbarhet. 1.3.2016 ble følgende test gjennomført:

1. Blanding av 2 m3 B45 SV40 med dagens ordinære resept, bestilt konsistens på 220 mm synk.
2. Innblåsing av 40 kg/m3 Steelfibre 50/1 N (1 mm) tradisjonell stålfiber, ca 10 minutter ekstra blandetid på automixer.
3. Uttak av to trillebårer til måling av ulike betong egenskaper, følgende resultater er pr dd oppnådd for betong fra trillebår nr 2, se tabell.

Parameter	Resultat	Kommentar
Konsistens, før innblanding fiber	230-240 mm	Vurdert visuelt
Konsistens, fiber betong	190 mm	
Luftinnhold	7 %	
Trykkfasthet	7 dg: 28 dg:	
Visuell vurdering	Steinrik, konsekvens av kun 2 m3 i trommel. Se bilde 1, side 2. Tendens til «SP-flyt» (kryper).	

4. Betong ble pumpet gjennom 31 m storpumpe og fylt i former for støttemursblokk, se bilde 2 på side 3. Følgende vurderinger er gjort:
   a. Noe «trå» å få gjennom rørgate, som forventet.
   b. Konsistens vurdert til opp mot 220 mm etter pumping, flyter godt i form.

c. Velde sin erfaring fra fiberbetong tidligere tilsier at synkmålet reduseres maks 10-20 mm ved innblanding av normale mengder stålfiber.
d. Fiberinnblanding krever normalt noe reduksjon av betongens steinmengde og tilhørende økt behov for SP-stoff og/eller økt pastavolum, dette virker ikke til å være nødvendig for denne sammensetningen.
e. Totalt sett bedømmes prøveblandingen som godt utgangs-punkt for fullskalatestingen av kantdragere med ulike fibervarianter.

Bilde 1. Synkmåling fiberbetong



Bilde 2. Fylt støttemursblokk



VEDLEGG 3 Priseeksempler for de anvendte fibertypene

Fibertype	Produsent	Tykkelse [mm]	Lengde [mm]	Pris [kr/kg]*
Svartstål	Mapei krampeharex	1	50	13
Galvanisert stål	Mapei krampeharex	0,75	50	19,2
Rustfritt stål	Mapei krampeharex	0,75	50	68,4
Plastfiber (PP)	Mapei M50	0,81	50	48
Basalt	ReforceTech MiniBars	0,65	55	85

* Pris er bare hentet fra en leverandør og vil kunne variere

VEDLEGG 4 Analyseparametere, herdekasseforsøk

Adiabatic temperature and isothermic heat

Concrete parameters

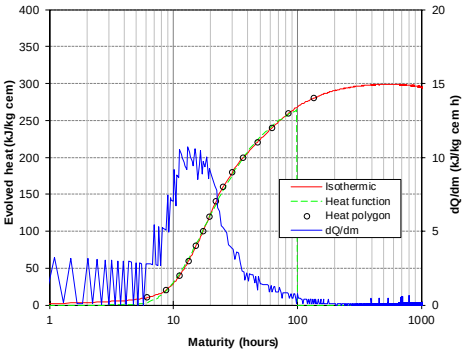
Temp. trans. coeff.	0,0032
Density	2318
Heat capacity (fresh)	1,00
Heat capacity (hardened	1,00
Cement content	404
Set time	9,5
A - set time	40000
B - set time	1000
A - hydration	40000
B - hydration	1000
Adia. start temperature	15

Temp. trans. coeff.

dQ/dm	0
m>	450
m<	500

Heat function

m-limit	100
Q_∞	290
τ	18,01
α	1,38
R^2	0,9965
$\Sigma\Delta Q$	1712



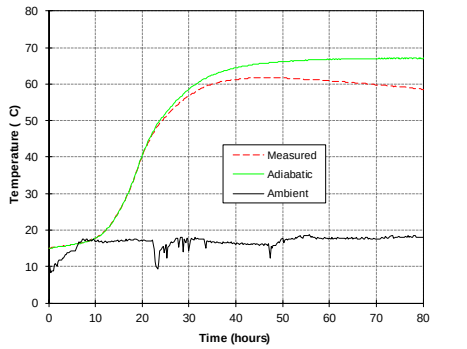
Heat polygon

Reference heat kJ/kg cem]	*Corresp. maturity [h]*
0	0,0
10	6,1
20	8,7
40	11,3
60	13,3
80	15,3
100	17,4
120	19,6
140	21,9
160	25,3
180	29,9
200	36,6
220	47,7
240	62,7
260	85,3
280	135,9
300	1143,7
305	1135,4
310	1127,2
313	1122,2

Adapt the temperature transmission coefficient: **<Ctrl> t**
Adapt the heat function: **<Ctrl> h**



$$Q = Q_\infty \cdot e^{\left(-\frac{\tau}{M}\right)^\alpha}$$



Project

Name	Beregning av adiabatisk varme - Referansebetong Sandsgård bru
Test id	Målt av Arne Vatnar hos Velde Betong (start 17.03.2016)
Perf. by	Øyvind Bjøntegaard, SVV
Date	20.04.2017

Adiabatic temperature and isothermic heat

Concrete parameters

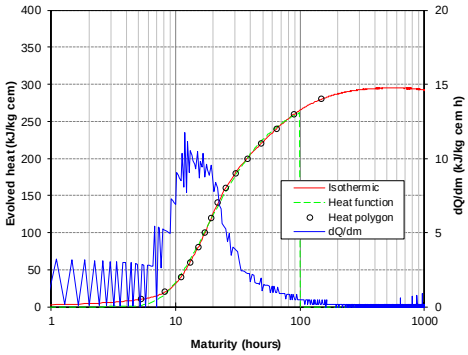
Temp. trans. coeff.	0,0038
Density	2303
Heat capacity (fresh)	1,00
Heat capacity (hardened	1,00
Cement content	404
Set time	10
A - set time	40000
B - set time	1000
A - hydration	40000
B - hydration	1000
Adia. start temperature	15

Temp. trans. coeff.

dQ/dm	0
m>	450
m<	500

Heat function

m-limit	100
Q_∞	289
τ	17,78
α	1,34
R^2	0,9951
$\Sigma\Delta Q$	2164



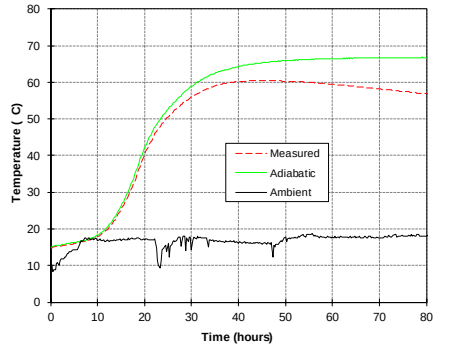
Heat polygon

Reference heat kJ/kg cem]	*Corresp. maturity [h]*
0	0,0
10	5,3
20	8,2
40	11,0
60	13,1
80	15,1
100	17,2
120	19,4
140	21,8
160	25,3
180	30,1
200	37,5
220	48,4
240	64,8
260	89,9
280	149,0
300	1113,6
305	1143,3
310	1173,1
313	1191,0

Adapt the temperature transmission coefficient: **<Ctrl> t**
Adapt the heat function: **<Ctrl> h**



$$Q = Q_\infty \cdot e^{\left(-\frac{\tau}{M}\right)^\alpha}$$



Project

Name	Beregning av adiabatisk varme - Betong med stålfiber, Sandsgård bru
Test id	Målt av Arne Vatnar hos Velde Betong (start 17.03.2016)
Perf. by	Øyvind Bjøntegaard, SVV
Date	20.04.2017

Brua er ca. 54 m lang. Inndeling i 3 felt på hver side gir ca. 18 m pr. felt.

Utarbeide tegninger som viser oppdeling av kantdragerne i 6 felt og hvor de forskjellige betongblandingene benyttes.

Det blir ikke dilatasjonsfuger, men ekstra skjøtejern mellom feltene er nødvendig.

Prøveblandinger

Entreprenør holder alle orientert om når aktiviteter planlegges.

Fiberbetong trenger normalt noe mer matriks (filler/sement) enn betong uten fiber. De ulike fiberbetongene vil ha omtrent lik varmeutvikling. Stålfiber har tradisjonelt størst konsekvens for støpbarhet slik at det er fornuftig å prøveblande/bestemme en stålfiberbetong først og så langt det er mulig forsøke å bruke omtrent samme resept på alle fiberbetongene.

Fiber tilsettes på bil ved å blåse fiberen gradvis inn for å få god fiberfordeling i lasset.

Erfaringer under prøveblandingene dokumenteres (fersk betongmålinger, visuelt, foto, etc) og endelige resepter utarbeides.

For referansebetongen og en av stålfiberbetongene støpes betong i herdekasse med indre dimensjon 1x1x1 m, 100 mm isolasjon og finer forskaling (også på toppen). Temperaturmåling i senter av herdekassene, samt lufttemperaturen. Disse 2 herdekassene lages på anlegget.

Gjennomføring ved støping av testfeltene

Måling av temperaturutvikling i kantdrager (hvert felt), montering av termoelementer: Anja angir hvor i snittet termoelement skal monteres.

Fersk betong (synk, luft) og terninger for 28d trykkfasthet – som normalt.

Måling av fiberfordeling gjennom betonglasset for noen utvalgte resepter ville vært gunstig som ekstra kontroll, men ikke sentralt for feltforsøket og for bæreevne.

Det støpes ut 3 bjelkeformer (150x150x600 mm) for hver av de 5 fiberbetongene. De totalt 15 formene sendes til prosjektet fra NTNU. De utstøpte formene lagres innendørs og sendes tilbake til NTNU for prøving av bøyestrekkfasthet ved 28d.

Støping av kantdrager/aktuelt testfelt, og logging av innstøpte termoelementer + lufttemperaturen.

Noter vindforhold, forskalingstype og type tildekking/tildekkingshistorikk for uforskalt overflate.

VEDLEGG 6 Fiberinnhold- og fiberfordeling for stålfiberbetongen

VELDE

Skjema for kontroll av fiberinnhold i fersk betong
(NS-EN 14721:2005+A1:2007)
(NS-EN 14488-7)

Dato:	17.03.2016
Følgeseddelnummer:	325621
Reseptnummer:	A2
Betong type:	B45 SV40 D22 STÅL F

Type Fiber	Stål	Plastisk	Andre
	X		
(Kg/m^3) Bør	40		

Test	Vekt (gr.)	Volum (liter)	Densitet (Kg/m^3)	Fiber mengde (gr)	Fiberinnhold (Kg/m^3)	Fiberinnhold ≥ 0,8	Fiberinnhold Gjennomsnitt (Kg/m^3)	Fiberinnhold Gjennomsnitt ≥ 0,85
1	7093	3	2364	115	38,3	OK	41,7	OK
2	6958	3	2319	120	40,0	OK		
3	6944	3	2315	140	46,7	OK		

Toleranse: Hver prøve ≥ 0,8 av spesifisert minsteverdi
Gjennomsnitt av 3 prøver fra et lass ≥ 0,85 av spesifisert minsteverdi.

VEDLEGG 7 Bilder tatt i forbindelse med andre kartlegging av riss (24. mars 2017)









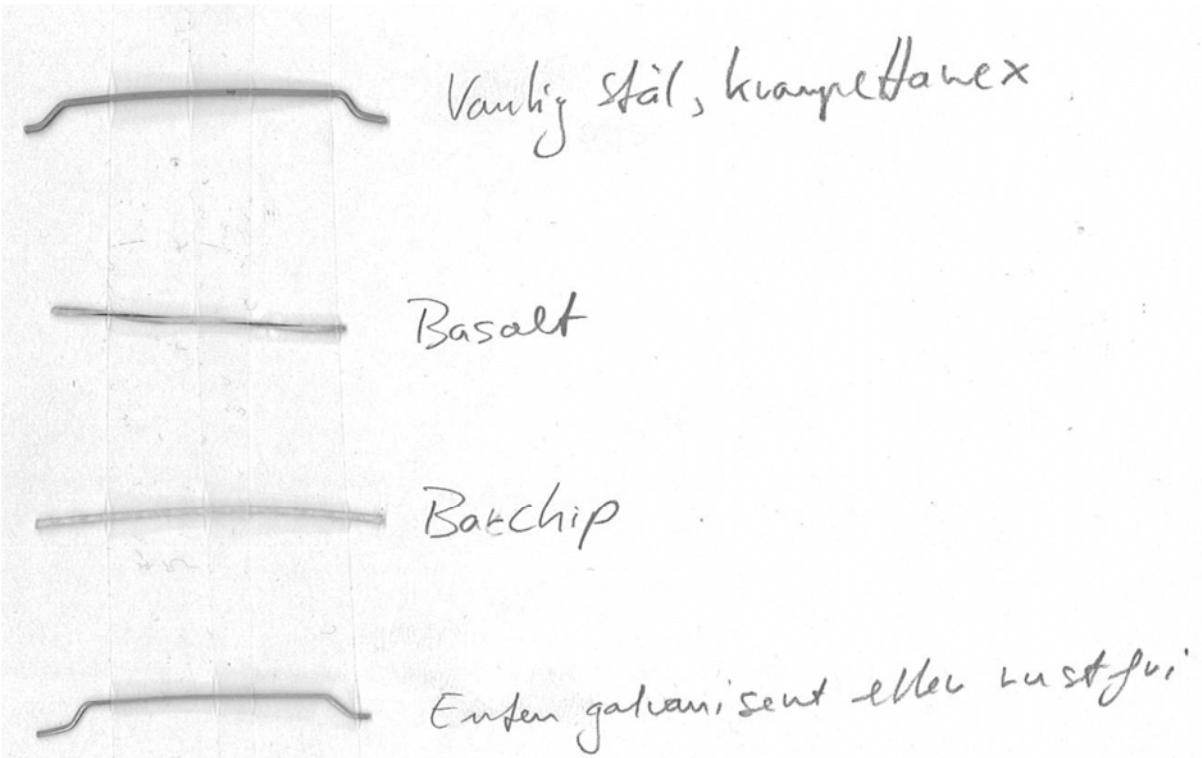











Vanlig stål, krampethanex
Basalt
Bakchip
Enten galvanisert eller rustfri

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen