

# Alkalireaksjoner – Karbon- fiberforsøk Elgeseter bru

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 339



**Tittel**

Alkalireaksjoner – Forsterkning av brusøyler med karbonfiberarmert polymer

**Undertittel**

Feltforsøk på Elgeseter bru, 2003-2011

**Forfatter**

Erik V. Thorenfeldt

**Avdeling**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

**Seksjon**

Tunnel og betong

**Prosjektnummer**

603244

**Rapportnummer**

Nr. 339

**Prosjektleder**

Bård Pedersen

**Godkjent av**

Eva Rodum

**Emneord**

Varige konstruksjoner, betong, alkalireaksjoner, forsterkning, karbonfiberarmert polymer, feltforsøk, brusøyler

**Sammendrag**

Rapporten beskriver utførelsen og resultater av et feltforsøk på Elgeseter bru hvor to av søylene med rissdannelse på grunn av alkalireaksjoner er delvis omviklet med karbonfiber/epoksy kompositt. Referanseverdier for relativ fuktighet i betongen, rissvidder samt målepunkter for ekstensometermåling av ekspansjon i fem ringer rundt søylene ble etablert i september 2003. Siste måling ble foretatt høsten 2011. Karbonfiberomviklingen synes å gi noe forbedret risskontroll, men da ekspansjonen av søylene i feltforsøket var svært beskjeden var den observerte virkning av fiberkompositten som ventet marginal. Det diskuteres hvilken effekt fiberomvikling kan ha på kontroll av rissutvikling og forsterkning av sirkulære søyler. Behovet for forsterkning av søylene i Elgeseter bru vurderes beregningsmessig. Rapporten inngår i en serie rapporter fra Statens vegvesens etatsprogram Varige konstruksjoner, 2012-2015.

**Title**

Alkali-silica reactions – Strengthening of bridge columns by use of CFRP

**Subtitle**

Field testing on Elgeseter bridge, 2003-2011

**Author**

Erik V. Thorenfeldt

**Department**

Traffic Safety, Environment and Technology Department

**Section**

Tunnel and concrete

**Project number**

603244

**Report number**

No. 339

**Project manager**

Bård Pedersen

**Approved by**

Eva Rodum

**Key words**

Durable structures, concrete, ASR, strengthening, CFRP, field testing, bridge columns

**Summary**

The report describes the execution work and results from a field testing programme on Elgeseter bridge, where two of the columns with ASR induced cracking are partly wrapped with carbon fiber reinforced polymer, CFRP. Reference values for concrete humidity (RH) and crack widths, and measuring studs for expansion measurements were established in September 2003. The last measurements were performed ultimo 2011. The CFRP wrapping seems to give a slightly improved crack distribution, but due to a moderate expansion, the observed effect of the CFRP was, as expected, marginal. The potential effect of CFRP wrapping of circular columns, on crack formation and strengthening are discussed. The need for strengthening the columns at Elgeseter bridge is discussed based on technical assumptions. This report belongs to a series of reports from the R&D programme Durable structures, 2012-2015.

## Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**. Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på [vegvesen.no/varigekonstruksjoner](http://vegvesen.no/varigekonstruksjoner)

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer** som ledes av Bård Pedersen. Prosjektet vil generere informasjon om tilstanden for bruer av betong, stål og tre, og gi økt forståelse for de bakenforliggende nedbrytningsmekanismene. Dette vil gi grunnlag for bedre levetidsvurderinger og reparasjonsmetoder. Innenfor områdene hvor det er nødvendig vil det etableres forbedrede rutiner og verktøy for tilstandskontroll- og analyse. Prosjektet vil også frembringe kunnskap om konstruktive konsekvenser av skader, samt konstruktive effekter av forsterkningstiltak. Prosjektet vil gi viktig input i forhold til design av material- og konstruksjonsløsninger for nyere bruer, og vil således ha leveranser av stor betydning til Prosjekt 3: Fremtidige bruer.

Rapporten er utarbeidet av *Erik Thorenfeldt, SINTEF*. Prosjektet ble startet opp før Varige konstruksjoner ble igangsatt, men er sluttrapportert i Varige konstruksjoner.

SBF 2015 A0046 - Åpen

# Rapport

## Rehabilitering av brusøyler med alkalireaksjonsskader Feltforsøk på Elgeseter bru Sluttrapport

### **Forfatter**

Erik Thorenfeldt



**SINTEF Byggforsk**

Byggematerialer og konstruksjoner, Betong

2015-01-01

SINTEF Byggforsk

Postadresse:  
Postboks 4760 Sluppen  
7465 TrondheimSentralbord: 73593000  
Telefaks: 73593380byggforsk@sintef.no  
http://www.sintef.no/Byggforsk/  
Foretaksregister:  
NO 948007029 MVA

# Rapport

## Rehabilitering av brusøyler med alkalireaksjonsskader Feltforsøk på Elgeseter bru

EMNEORD:

Byggeteknikk

Betong

Forsterkning

CFAP Karbonfiberarmert

polymer

Brusøyler

VERSJON

2.0

DATO

2015-01-01

FORFATTER

Erik Thorenfeldt

OPPDRAKSGIVER

Statens Vegvesen Region Midt

OPPDRAKSGIVERS REF.

Eva Rodum, Ragnhild Holen Relling

PROSJEKTNR

227139

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

52 sider

### SAMMENDRAG

Rapporten beskriver utførelsen og resultater av et feltforsøk på Elgeseter bru hvor to av søylene med rissdannelse på grunn av alkalireaksjoner er delvis omviklet med karbonfiber/epoksy kompositt. Referanseverdier for relativ fuktighet i betongen, rissvidder samt målepunkter for ekstensometermåling av ekspansjon i fem ringer rundt søylene ble etablert i september 2003. Siste måling ble foretatt høsten 2011. Resultatene er analysert og diskutert i kap. 2.7. Karbonfiber omviklingen synes å gi noe forbedret risskontroll, men da ekspansjonen av søylene i feltforsøket var svært beskjeden var den observerte virkning av fiberkompositten som ventet marginal.

I kap. 3 gis en oppsummering og diskusjon av resultatene av måling av fugebredde, enkeltriss og fuktmålinger på Elgeseter bru for øvrig. Det antas mest sannsynlig at vidden av vertikale riss i eksponerte søyler vil fortsette å øke, kanskje med en avtagende hastighet i årene framover. Sannsynligvis vil rissutvikling i overflatebehandlede søyler og forlengelsen av brubanen være liten, men da fuktigheten i betongen er høy, kan en ikke se bort fra at flere av søylene med Cem-Elastic vil risse opp og at brubanen igjen vil vise tendens til forlengelse.

I kap. 4 diskuteres hvilken effekt fiberomvikling kan ha på kontroll av rissutvikling og forsterkning av sirkulære søyler. Behovet for forsterkning av søylene i Elgeseter bru vurderes beregningsmessig. Det konkluderes med at forsterkning ikke er strengt nødvendig. Full rehabilitering av søylenes kapasitet og beskyttelse mot slagregn kan oppnås ved montering av epoksy/fiberkompositt i moderate antall lag.

UTARBEIDET AV

Erik V. Thorenfeldt

KONTROLLERT AV

For Jan Lindgård

GODKJENT AV

Tor Arne Martius-Hammer

RAPPORTNR

SBF 2015 A0046

ISBN

GRADERING

Åpen

SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR

Tor Arne Martius-Hammer  
2015.02.04 10:08:11  
+01'00'

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBESKRIVELSE</b>
1.0	2013-01-30	Fortrolig rapport SBF 2012 F00370
2.0	2015-01-01	Åpen rapport SBF 2015 A0046

---

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Elgeseter bru - Historikk</b> .....	<b>3</b>
1.1	Konstruksjonsbeskrivelse.....	3
1.2	Virkning av alkalireaksjoner - vurdering 2003 .....	4
<b>2</b>	<b>Feltforsøk med karbonfiberkompositt på brusøyler</b> .....	<b>5</b>
2.1	Målsetting.....	5
2.2	Planlagt utførelse.....	5
2.3	Utførelse av karbonfiberfelt .....	5
2.4	Instrumentering / Registrering.....	6
2.5	Referansemålinger.....	13
2.5.1	Ekspansjonsmålinger.....	13
2.5.2	Rissviddemålinger.....	14
2.5.3	Fuktmålinger .....	17
2.5.4	Heftprøver .....	18
2.6	Resultater.....	20
2.6.1	Utførte registreringer.....	20
2.6.2	Ekspansjonsmålinger.....	21
2.6.3	Rissviddemålinger.....	22
2.6.4	Fuktmålinger .....	23
2.7	Analyse av resultater .....	23
2.7.1	Fuktmålinger .....	23
2.7.2	Rissvidder.....	23
2.7.3	Ekstensometermålinger .....	26
2.7.4	Forhold mellom "risstøyning" og ekstensometermåling.....	27
2.7.5	Gjennomsnittlig ekspansjonsutvikling.....	29
<b>3</b>	<b>Oppsummering av feltmålinger</b> .....	<b>30</b>
3.1	Forlengelse av brubanen.....	30
3.2	Måling av enkeltriss på brusøyler i akse 2 og 9 .....	31
3.3	Måling av rissviddesum rundt foten av alle søyler.....	34
3.4	Fuktforhold.....	35
3.5	Forventet videre rissutvikling.....	36
<b>4</b>	<b>Virkning av fiberomvikling</b> .....	<b>37</b>
4.1	Motvirkning av ekspansjon .....	37
4.2	Påvirkning av rissdannelse .....	38
4.3	Forsterkningseffekt.....	43
4.4	Mulig forsterkning av søylene i Elgeseter bru .....	46
4.5	Behov for forsterkning .....	47
4.6	Mulige tiltak .....	49
<b>5</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>50</b>

## 1 Elgeseter bru - Historikk

### 1.1 Konstruksjonsbeskrivelse



Foto 1 Elgeseter bru sett fra vest

Elgeseter bru er en 200 m lang bjelkebru med 9 spenn utført i slakkarmert betong. Normalspennvidden er 22,50 m med endespennvidder 21,25 m. Brua har brutto bredde 23,40 m og hadde opprinnelig fire kjørefelt og to felt for trikk. Brua har en seilingshøyde på 15 m.

Hovedbæresystemet består av 4 stk langsgående kontinuerlige bjelker c/c 5,5 m opplagt på søyler Ø 800 mm. Søylerrekke nærmest nordre landkar er leddlagret i topp og innspent i fundamenter. De øvrige søylene er støpt monolittisk til bjelkene i bruoverbygningen. Brua har pendellager og fuge ved nordre landkar (til venstre på bildet). Ved søndre landkar er brubjelkene fastholdt og delvis innspent i landkarkonstruksjonen.

Brua er fundamentert på friksjonspeler. Det er brukt trepeler under søylefundamentene og betongpeler ved landkarene.

Elgeseter bru ble utført etter planer av dr.ing A. Aas-Jakobsen og arkitektene Blakstad & Munthe-Kaas. Hovedentreprenør var Ingeniør F. Selmer AS.

Brua ble innviet i 1951 etter en byggetid på ca 2 år.

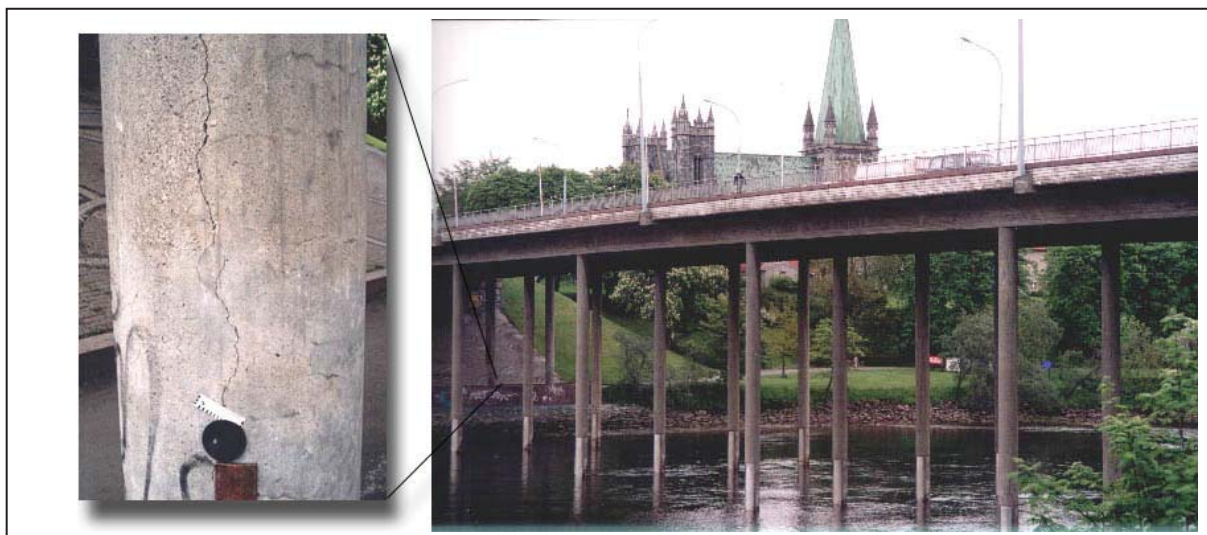
I 2004 ble brua tildelt Betongtavlen av Norsk Betongforening begrunnet i at "brua er et fremragende, fremtidsrettet og vakkert byggverk. Ved sin gode tekniske tilstand markerer broen betongens egenskaper som et bestandig byggemateriale.»

I 2008 ble brua fredet av Riksantikvaren.



## 1.2 Virkning av alkalireaksjoner - vurdering 2003

Betongen i Elgeseter bru har vist seg å inneholde tilslag som er alkalireaktivt. Ekspansjon på grunn av alkalireaksjoner har ført til en gradvis forlengelse av brubanen (lukking av dilatasjonsfuge) og en stadig utvikling av hovedsakelig langsgående riss av søylene. Måling av fugebredde mellom bjelkeender og landkar viser en tilsynelatende konstant forlengelse av brubanen på ca. 3,5 mm pr år. Overvåking av fukttilstanden i betongen og rissutviklingen i søylene siden 1995 viser i hovedsak at den relative fuktighet i betongen er så høy at fortsatte alkali-reaksjoner kan forventes og at de største rissene i søylene utvider seg opp til 0,1 mm pr år.



Videre utvikling kan på lang sikt føre til at søylene får redusert bæreevne på grunn av dannelsen av store riss, som gir redusert evne til skjærkraftoverføring og øket risiko for korrosjonsskader på bøylearmeringen i søylene. Søylar som er forbundet med brubanen nær bevegelig dilatasjonsfuge, vil dessuten få tilleggspåkjenninger på grunn av forskyvningen ved søyletopp ved ekspansjon av brubanen. Utbedringsarbeider med frigjøring, forskyvning og ny forbindelse mellom brobanen og noen søylerader nærmest nordenden av brua er utført sommeren 2003.

En overfladisk vurdering uten beregningsmessig kontroll gir liten grunn til bekymring for søylenes sikkerhet i dagens situasjon. En må imidlertid regne med at alkalireaksjonene har et potensial for fortsatt ekspansjon i flere tiår framover. Det synes derfor bare å være et spørsmål om tid før videre ekspansjon og opprissing på grunn av alkalireaksjoner, eventuelt kombinert med virkning av frost og armeringskorrosjon, vil gjøre det nødvendig å forsterke søylene for å opprettholde nødvendig sikkerhet.

Det foreligger derfor et klart behov for å komme fram til effektive og rimelige rehabiliteringsmetoder som kan bremse rissutviklingen og sikre søylenes bæreevne.

Det er tidligere gjennomført laboratorieforsøk med aksialbelastning av armerte søyler med fiberomvikling (finansiert av Statens Vegvesen). Ref.[4] Forsøkene viste at fiberomvikling med 1 – 2 lag fiber på søyler med diameter 330 mm ga en markert forsterkning både av betongens og den omfaringskjøtte armeringens bæreevne. Resultatene indikerer at søyler med diameter 800 mm minst bør ha tre lag á 0,13 mm fiber for å gi en sikker forsterkningseffekt.

I løpet av 2002 er det i tillegg gjennomført akselererte ekspansjonsforsøk med betongsylindere framstilt av mørtel med ekstremt alkalireaktivt tilslag (finansiert av SINTEF og EU) ref.[5]. Sylindrenes ekspansjon var delvis fastholdt med sirkulær fiberomvikling og/eller stålbolter i

lengderetningen. Forsøkene indikerer at ekspansjons- og rissretningen kan påvirkes av fastholding, blant annet med fiberomvikling.

## **2 Feltforsøk med karbonfiberkompositt på brusøyler**

### **2.1 Målsetting**

Formålet med prosjektet er å vinne erfaring med utførelse og måle effekten av rehabiliteringsmetoder, spesielt forsterkning med karbonfiberomvikling, for betongsøyler med alkalireaksjoner.

Effekten på rissdannelse og fuktinnhold overvåkes i 3-5 år med sikte på å komme fram til anbefalinger for valg av rehabiliteringsmetode inklusive valg av materialer, materialmengder og utførelse.

Resultatene kan gi direkte grunnlag for valg av endelig rehabiliteringsmetode for søylene på Elgeseter bru og bidra til utvikling av generelle metoder for forsterkning/forsegling av konstruksjoner med skader på grunn av alkalireaksjoner.

### **2.2 Planlagt utførelse**

Det gjennomføres feltforsøk med rehabiliteringsmetode basert på omvikling av utvalgte søylefelt med karbonfibervev som limes og impregneres med epoksy med sikte på å sikre søylenes statiske integritet og påvirke videre rissdannelse.

Eksisterende målinger av rissutvikling, tøyningmålinger og relativ fuktighet i betongen følges opp med nye registreringer og rapporteres. Eksisterende målinger bør suppleres med ekstra målepunkter for å kunne registrere fukt og rissutvikling for forsøksfeltene.

### **2.3 Utførelse av karbonfiberfelt**

Det etableres i første omgang tre forsøksfelt med fiberomvikling, hvorav to felt med tre lag Sika Wrap og ett felt med ett lag. Feltene etableres på første søylerad på land på sørsiden (akse 2).

Hvert felt omfatter omvikling med fibervev i 2 bredder a 600 mm og 2 bredder a 300 mm totalt 1800 mm lengde langs søylene. Fiberveven legges heldekkende (kant i kant) slik at den dekker to lengder a 900 mm (600 + 300) med en fri horisontal spalte på ca. 30 mm mellom. Spalten skal benyttes for rissviddemåling.

- Søyle nr 1: Ett felt à ca. 1,8 m med tre lag plassert med underkant ca. 0,5 m over øverste målepunkt. (Tidligere instrumentert søyle på vestsiden)
- Søyle nr 2: Ett felt á ca. 1,8 m med tre lag med underkant ca. 0,7 m fra bakken  
Ett felt á ca. 1,8 m med ett lag med underkant ca. 4,5 m fra bakken  
(Fritt område á ca. 2,0 m mellom fiberfeltene)

#### Arbeidsbeskrivelse 1 lag med Sika Wrap:

- Rigg
- Horisontalt snitt i midthøyde av prøvefeltet avmerkes
- Midtsnittet dekkes med horisontalt bånd med 20-30 mm bredde og maskeres med malerteip
- Evt skader mørtles igjen med Sikadur 41
- Porefylling med Sikadur 31
- Lim Sikadur 330
- Fibervev Hex Carb 230 med samlet bredde 900 mm legges kant i kant over og under båndet
- Hver fibervevenhet legges rundt søylen med 100 mm overlappskjøt
- Forsegling med Sikadur 330
- Teip og bånd fjernes mens limet er ferskt. (Frilagt spalte for rissviddemåling)
- UV-beskyttelse med Sikagard Elastocolor eller tilsvarende.

Felt med 3 lag Sika Wrap legges vått i vått. Bearbeides med rull slik at fiberveven impregneres og lim presses igjennom veven. Eventuelt suppleres med tilleggslim mellom lagene. Prosedyre ellers som for ett lag.

Det valgte produkt Sika Wrap Hex 230 C har ensrettede karbonfibre med E-modul 230 GPa og strekkfasthet ca 4000 MPa med ca 17 o/oo bruddtøyning. Fibervekt pr lag = 230 g/m<sup>2</sup> med teoretisk fiberlagtykkelse 0,13 mm. Limet Sikadur 330 er to-komponent epoksybasert.

#### **2.4 Instrumentering / Registrering**

Tidligere overvåkning etablert i 1995 omfatter 1 bjelke og 4 stk søyler med 8 målepunkter med kombinert trepunkts ekstensometermåling (DEMEC-måler) og fuktmåling med raminpinner i to dybder. I 1999 er det etablert ytterligere 7 målepunkter med kombinert ekstensometer og fukt-måling og 4 målepunkter med bare fuktmålinger. Det er i tillegg foretatt rissmåling ved foten av alle søyler i 1999. Fortsatt registrering gjennomføres av brueier, dvs Statens Vegvesen Region Midt. Registrering av rissvidder ved foten av alle søyler foreslås gjentatt ved forsøket begynnelse og slutt.

6 nye fuktmålere (Humi Guard) og 60 nye målepunkter for ekstensometer fordelt på 12 måle-områder i 5 ringer rundt søylene i forbindelse med de fiberomviklede felt utføres. Referanse-måling og rapportering utføres av SINTEF.

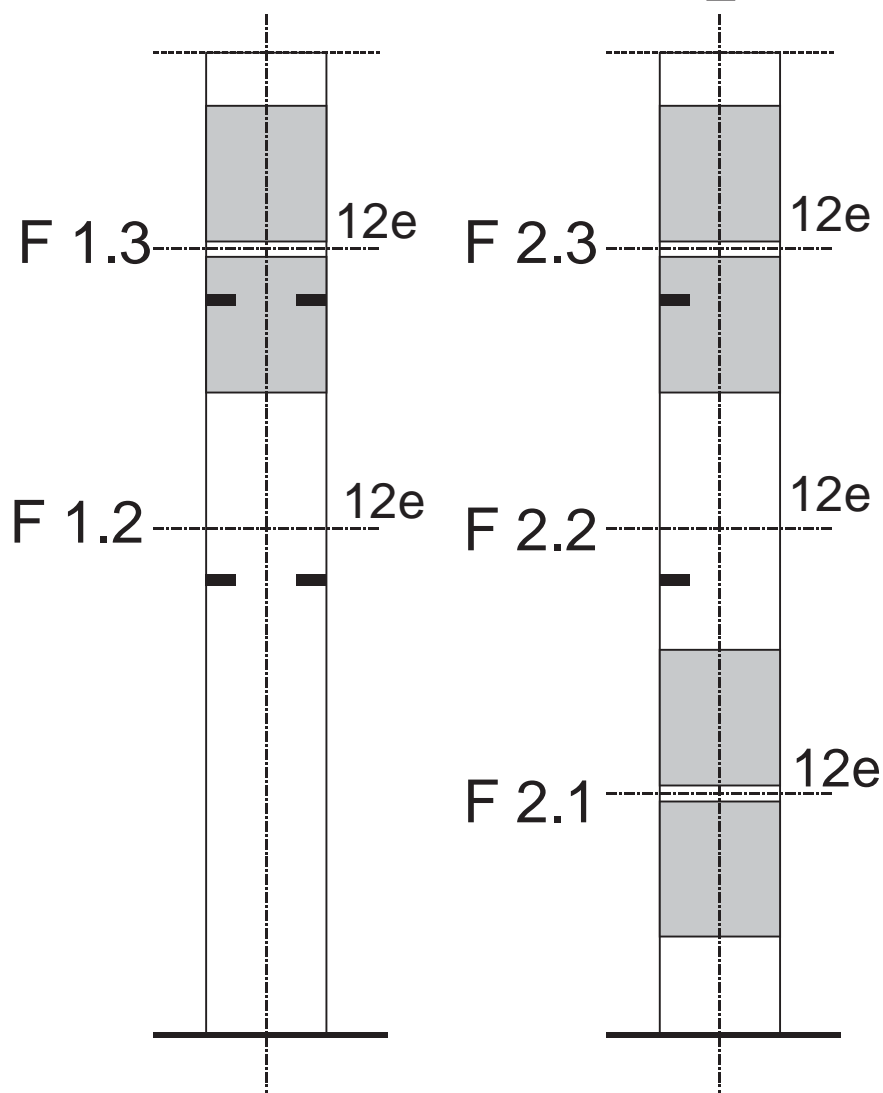
I tillegg til ekstensometermåling foretas registrering av riss rundt søylenes periferi i ett nivå for hvert fiberomviklet felt (åpen spalte) samt to felt uten fiber, dvs i 5 nivåer. I tillegg til registrering av rissenes antall og posisjon foretas enkel måling av rissvidder ved hjelp av vanlig riss-mal.

Da rissregistrering og ekstensometermåling i forbindelse med forsøksfeltene vil kreve stillas, er relativt arbeidskrevende og må utføres så nøyaktig som mulig for å kunne registrere de antatte små endringer av rissviddene, utføres dette av SINTEF en gang pr år.

# Elgesteter Bro - Feltforsøk

Søyle nr: 1

2



— Fuktmåler

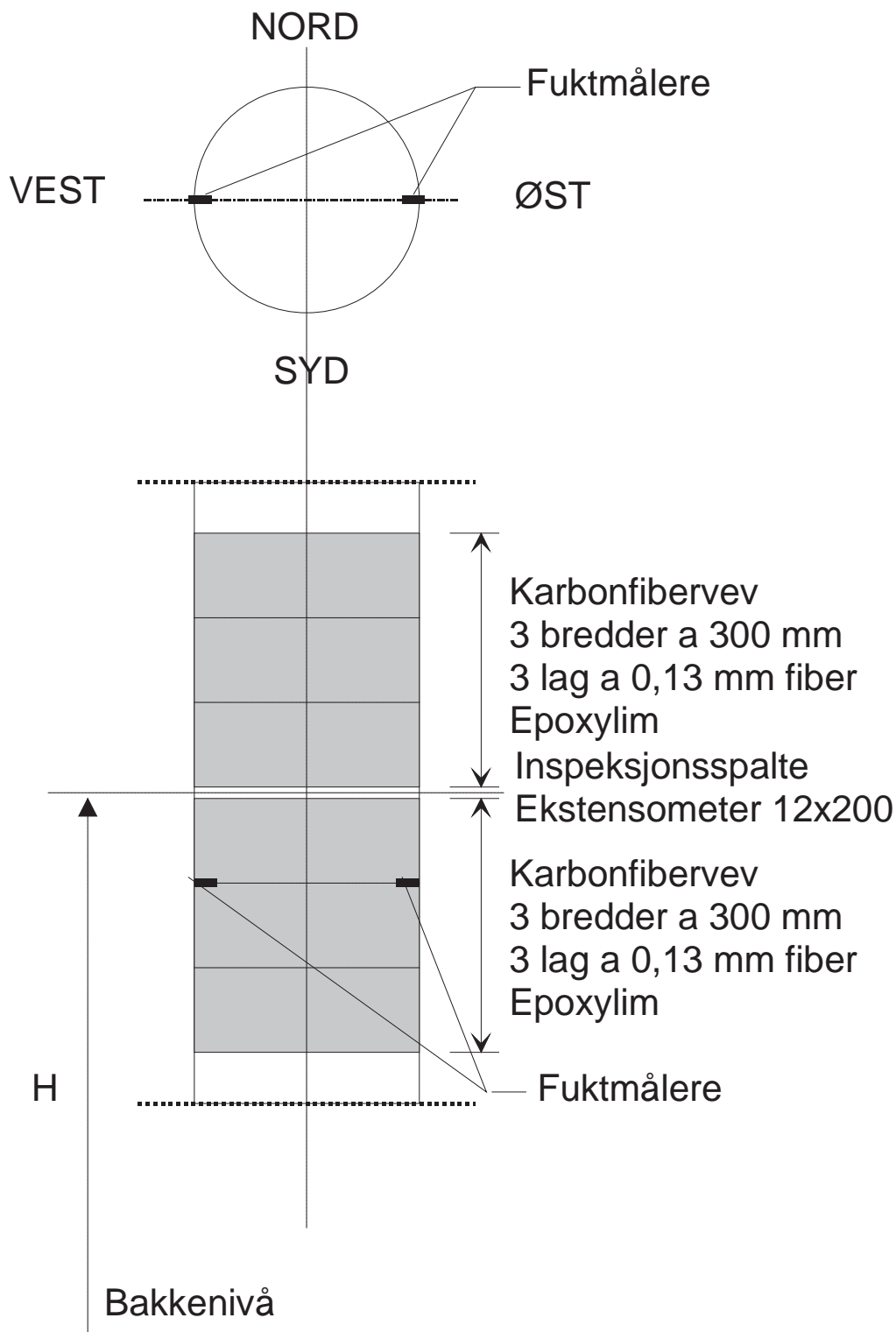
12e 12 ekstensometer måleområder a 200 mm

F x.x: Felt nummer

Fig 1 Oversikt over planlagte forsøksfelt

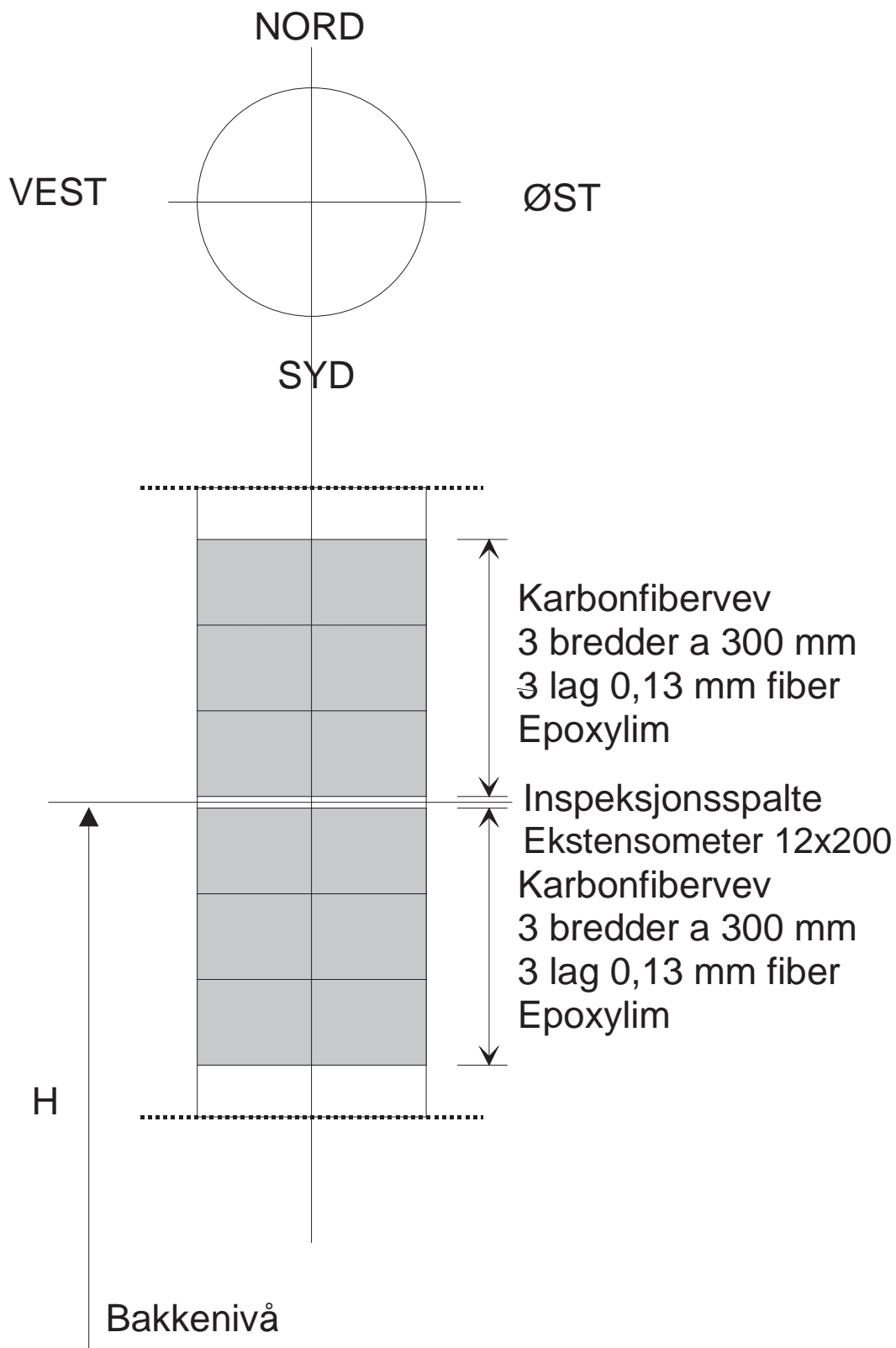
Søylene tilhører første søylerad på land i broens sydende (v/Studentersamfundet)  
Søylene er nummerert med søyle nr 1 på broens vestside.

Merknad: Forsøksfelt på søyle 1 og 2 startet opp i 2003.



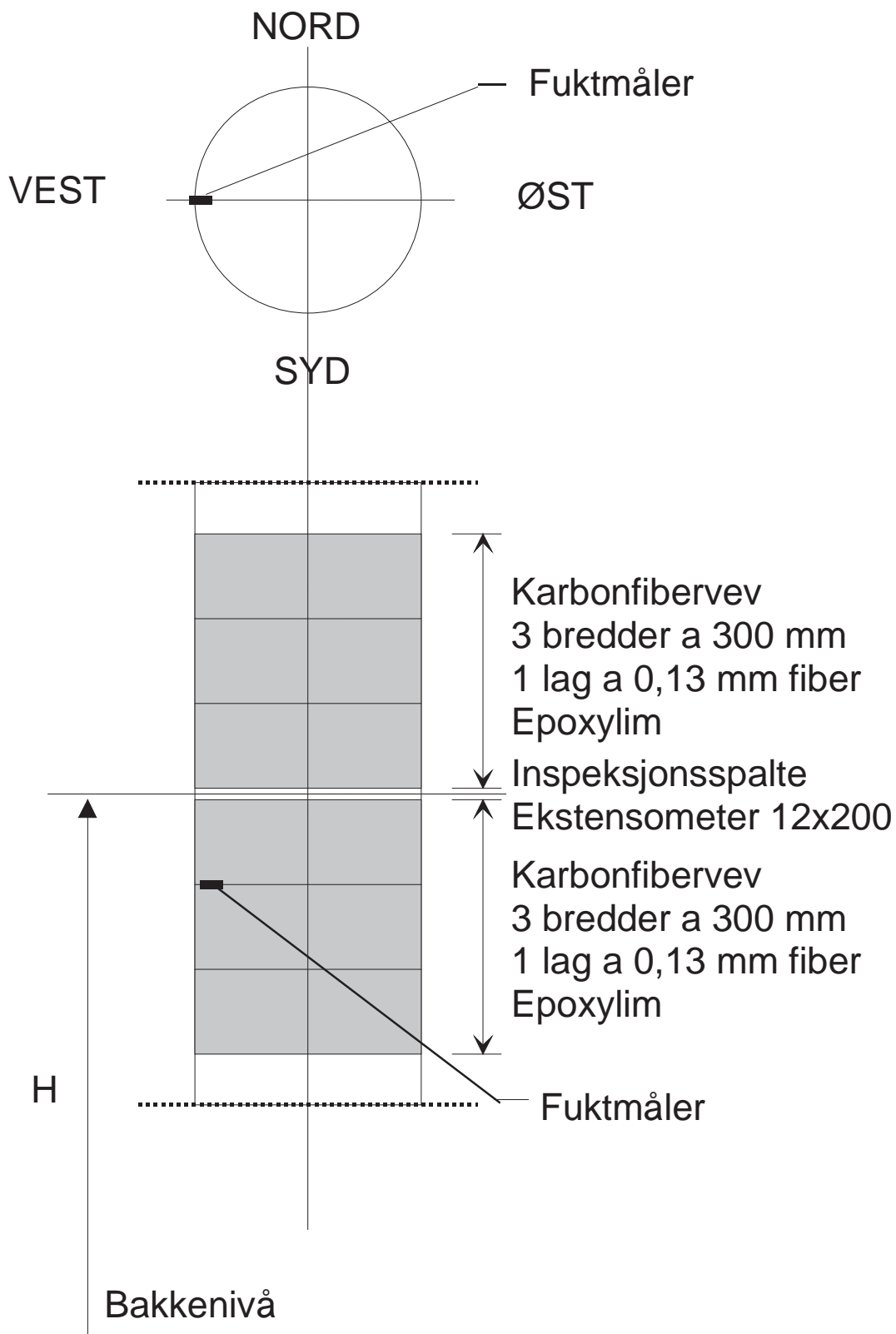
**Pøvefelt nr: 1.3**  
**Høyde H = 5,50 m**

Fig 2 Prøvefelt på søyle nr 1 i nivå 3



**Pøvefelt nr: 2.1**  
**Høyde H = 1,50 m**

Fig 3 Prøvefelt på søyle nr 2 i nivå 1

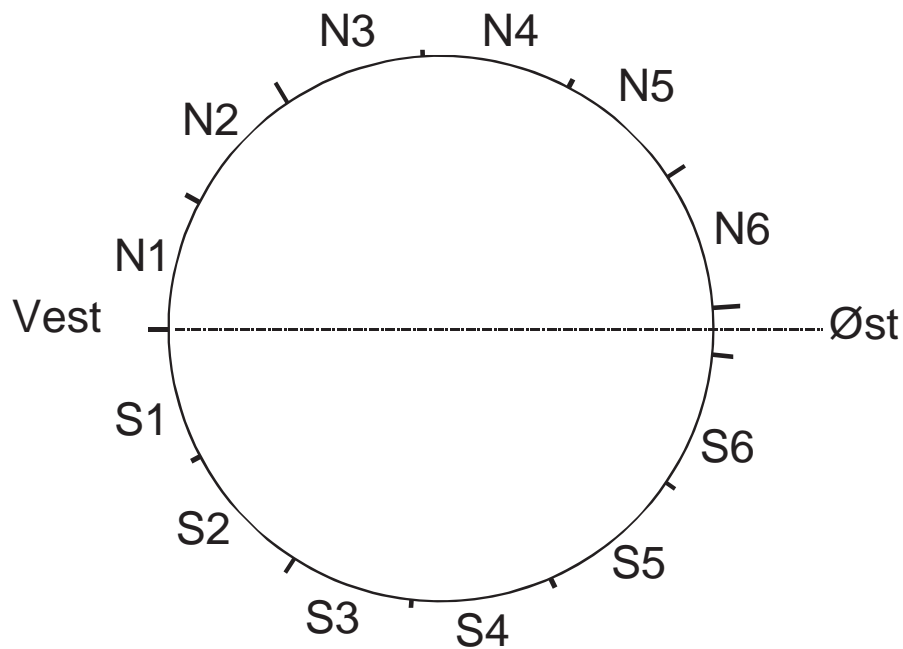


**Pøvefelt nr: 2.3**  
**Høyde H = 5,50 m**

Fig 4 Prøvefelt på søyle nr 2 i nivå 3

## Elgeseter bro Feltforsøk

Nummerering av måleområder a 200 mm for ekstensometer



a) 12 stk måleområder i senterlinje felt

Fig 5 Måleområder for ekstensometermåling





Foto 3 Ferdig forsøksfelt med grå overflatebehandling.  
Detaljfoto viser inspeksjonsspalte med et ekstensometerpunkt og et tydelig riss.

## 2.5 Referansemålinger

### 2.5.1 Ekspansjonsmålinger

65 målepunkter for manuelt ekstensometer i form av små bolter med forboret forsenkning i sekskanthodenes toppflate ble montert med senteravstand 200 mm i 5 ringer rundt søylene som vist på fig 5. Hull med ca 15 mm dybde ble boret i betongsøylene med et påspent båndstål med hullavstand 200 mm som mal. Boltene ble limt ved å fylle hullene delvis med et fuktbestandig ”montasjelim” og presse bolter med ca 12 mm gjenget skaftlengde inn i hullet slik at underkant hode fluktet med betongoverflaten.

Bolteringene ble deretter dekket med et ca 30 mm bredt påspent ”bagasjebånd” for å beskytte boltene mot tilgrising ved liming av fibervev. Bagasjebånd med strammemekanisme ble i tillegg beskyttet med maskeringsteip for å unngå at båndet ble limt fast til søylen.

Etter at feltene av fibervev var utført ble prøvemåling foretatt. Noen få ustabile bolter ble trukket ut og limt på nytt. Som vist i tabell 1 lå alle målinger innenfor instrumentets måleområde. Avleste verdier ligger mellom ca 3 og 24 (omdreininger på måleuret) mens referansestavens lengde ga avlesning 15,80. Da en omdreining på måleuret representerer 0,2 mm lengdeendring, betyr dette at de etablerte basislengdene stort sett ligger innenfor  $200 \pm 2$  mm, dvs. med et neglisjerbart avvik fra nominell verdi på ca 1 %.

Målinger med manuelt ekstensometer ble deretter gjennomført for alle målepunkter i 3 omganger i perioden 9. – 15. sept 2003. Største observerte avvik mellom enkeltmålinger for samme punkt var 0,10 enheter = 0,02 mm. Referanseverdiene i tabell 1 representerer middelverdier av de 3 målingene. Forventet nøyaktighet er ca  $\pm 0,01$  mm eller 0,05 o/oo av basislengden.

<b>Tabell 1</b> Elgeseter bru - Feltforsøk - Referanse ekstensometermålinger						
Ekstensometer nr 5		Basislengde: 200 mm			Presisjon 0,002 mm	
Dato: 15-09-2003		Temperatur gjennomsnitt:			17,0 °C	
Søyle nr		1	1	2	2	2
Felt nr		1.3	1.2	2.3	2.2	2.1
Høyde (m)		5,5	3,5	5,5	3,5	1,5
Utførelse		Fiber	Uten fiber	Fiber	Uten fiber	Fiber
Område	Posisjon					
Ref. stav		15,80	15,80	15,80	15,80	15,80
S6	-1100	15,31	12,04	14,92	16,25	8,96
S5	-900	18,61	16,33	17,83	16,66	25,63
S4	-700	11,05	20,63	14,10	5,98	16,20
S3	-500	9,94	14,57	22,94	21,94	16,11
S2	-300	3,24	23,74	15,25	3,30	13,30
S1	-100	13,01	6,39	3,75	6,01	15,94
N1	100	10,75	10,73	20,12	21,29	21,99
N2	300	16,22	14,30	16,37	10,58	17,33
N3	500	12,43	19,19	20,67	18,59	10,96
N4	700	18,12	3,20	12,45	12,42	22,82
N5	900	14,93	3,95	19,28	19,67	13,31
N6	1100	13,80	24,51	11,10	15,24	17,16

## 2.5.2 Rissviddemålinger

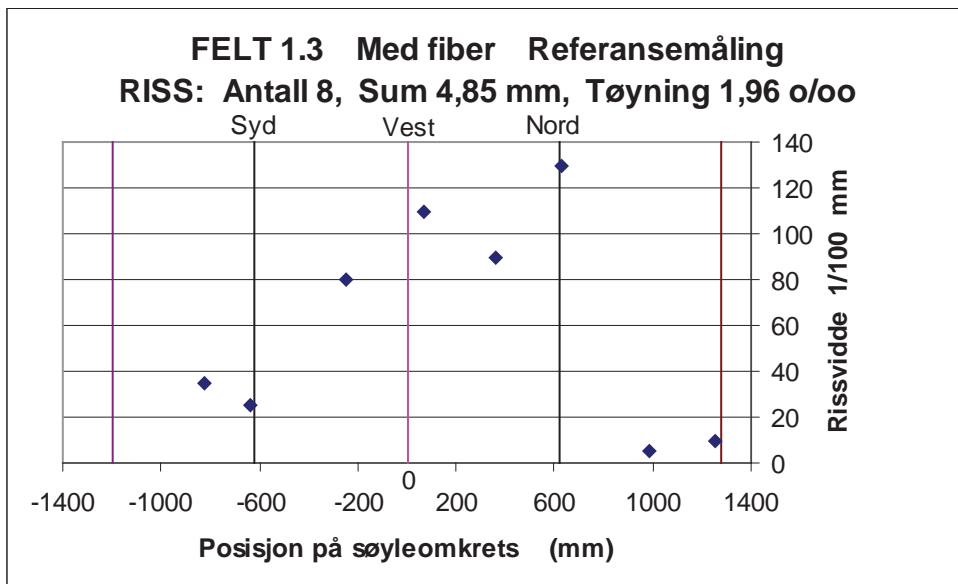
<b>Tabell 2 Referansemåling riss. Søyle nr 1</b>			
Rissviddemålinger med rissmal.			
Felt 1.3 Med fiber		Felt 1.2 Uten fiber	
Dato 12-09-2003		Dato 12-09-2003	
Posisjon	Rissvidde	Posisjon	Rissvidde
mm	1/100 mm	mm	1/100 mm
-820	35	-885	5
-640	25	-625	45
-250	80	-315	90
65	110	-100	5
360	90	140	80
630	130	365	35
990	5	530	25
1250	10	620	5
		650	10
		875	25
		1240	30
Antall riss	8 stk	Antall riss	11 stk
Sum rissv. (mm)	4,85	Sum rissv. (mm)	3,55
Omkrrets (mm)	2475	Omkrrets (mm)	2479
Sum/Omkr	1,960 o/oo	Sum/Omkr	1,432 o/oo

<b>Tabell 3 Referansemåling riss. Søyle nr 2</b>					
Rissviddemålinger med rissmal :					
Felt 2.3 Med fiber		Felt 2.2 Uten fiber		Felt 2.1 Med fiber	
Dato 12-09-2003		Dato 12-09-2003		Dato 12-09-2003	
Posisjon	Rissvidde	Posisjon	Rissvidde	Posisjon	Rissvidde
mm	1/100 mm	mm	1/100 mm	mm	1/100 mm
-1070	25	-1070	15	-825	15
-270	15	-695	5	-635	15
20	25	-220	40	-450	45
275	40	-55	20	-420	10
505	30	165	25	-150	40
792	5	580	50	55	30
800	10	825	30	230	60
1054	10	1110	15	365	10
				480	15
				890	45
				1185	35
Antall riss	8 stk	Antall riss	8 stk	Antall riss	11stk
Sum rissv. (mm)	1,60	Sum rissv. (mm)	2,00	Sum rissv. (mm)	3,20
Omkrrets (mm)	2473	Omkrrets (mm)	2475	Omkrrets (mm)	2483
Sum/Omkr	0,647 o/oo	Sum/Omkr	0,808 o/oo	Sum/Omkr	1,289 o/oo

Posisjonen for observerte riss som krysser de 5 periferilinjene, ble oppmålt med målebånd. På grunn av ujevn betongoverflate, lokalt variable rissvidder og smal observasjonsspalte viste det seg vanskelig å måle representative rissvidder med mikroskop. Rissviddene ble derfor bestemt ved hjelp av rissmal og lupe med mulig avlesningsnøyaktighet på 0,05 mm for små riss og ca 0,1 mm for store riss. Rissviddene ble målt der hvor risskantene var relativt jevne i umiddelbar nærhet av periferilinjene. Da det ligger en viss grad av skjønn i denne bedømmelsen, må en regne med at målinger i samme punkt kan variere med ca  $\pm 0,05$  mm for små riss opp til  $\pm 0,15$  mm for store.

Målte rissposisjoner (avstand i mm langs periferi fra vestsida) og rissvidder i 1/100 mm framgår av tabell 2 og 3. Nederst i tabellene angis også forholdet mellom summen av rissvidder og søyleomkretsen angitt i promille. Dersom en antar at søylens ekspansjon kommer til uttrykk i de langsgående rissene vil dette være et mål for søylens lineære ekspansjon i ringretningen. Fig 6 og 7 viser hvordan rissene er fordelt rundt søylene. Normalt er de største rissene mot nord-vest.

a) Felt 1.3 H = 5,5 mm



b) Felt 1.2 H = 3,5 mm

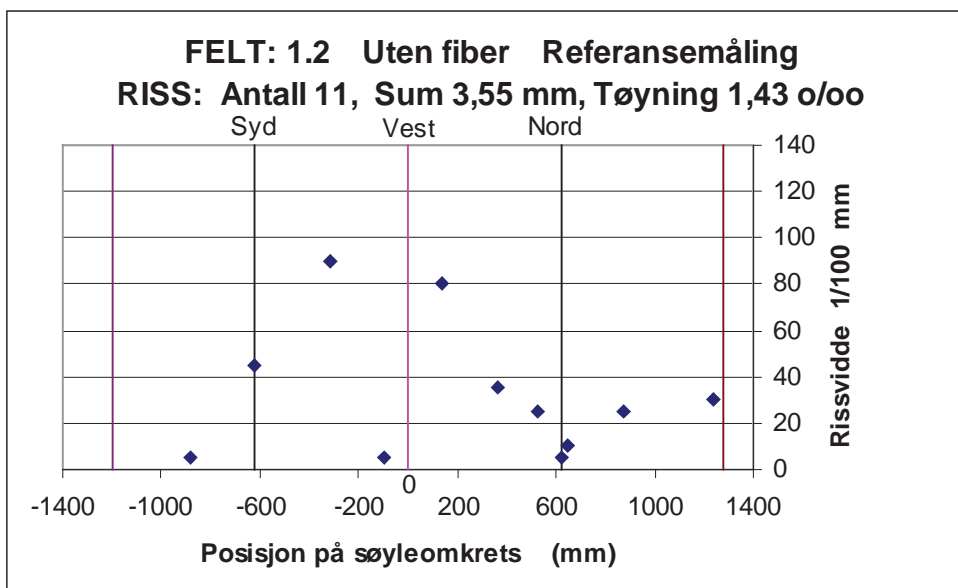


Fig 6 Rissviddemålinger på søyle nr 1

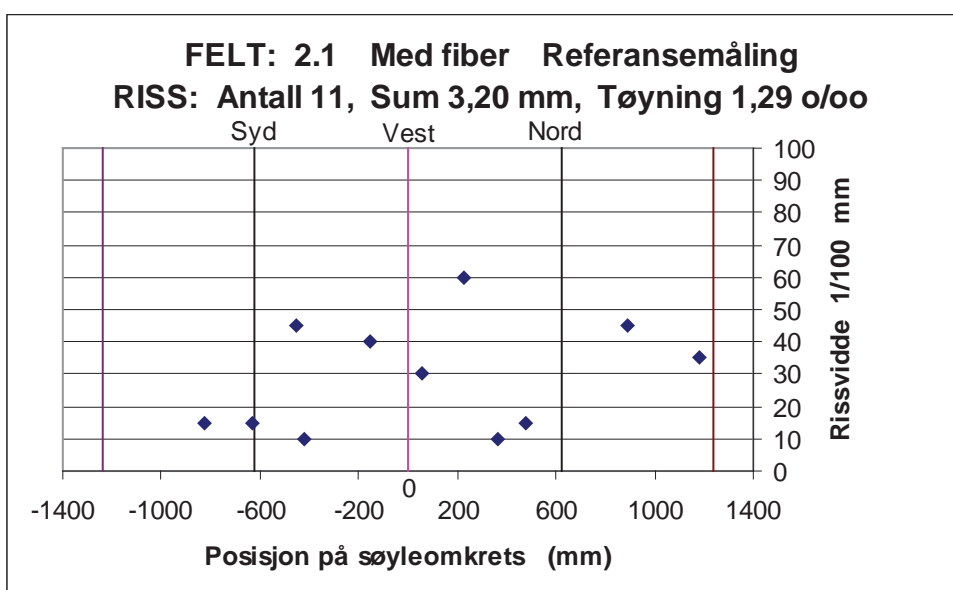
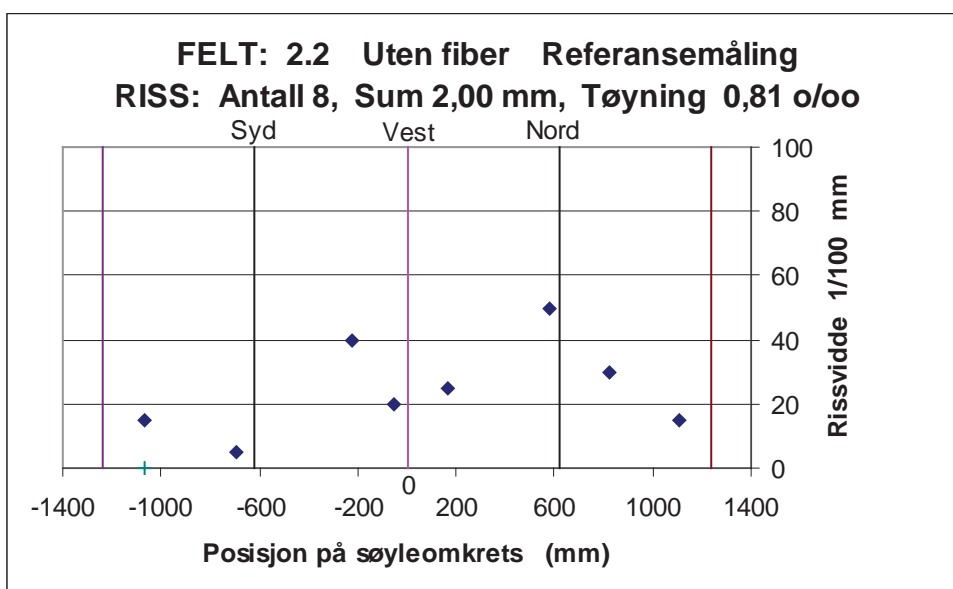
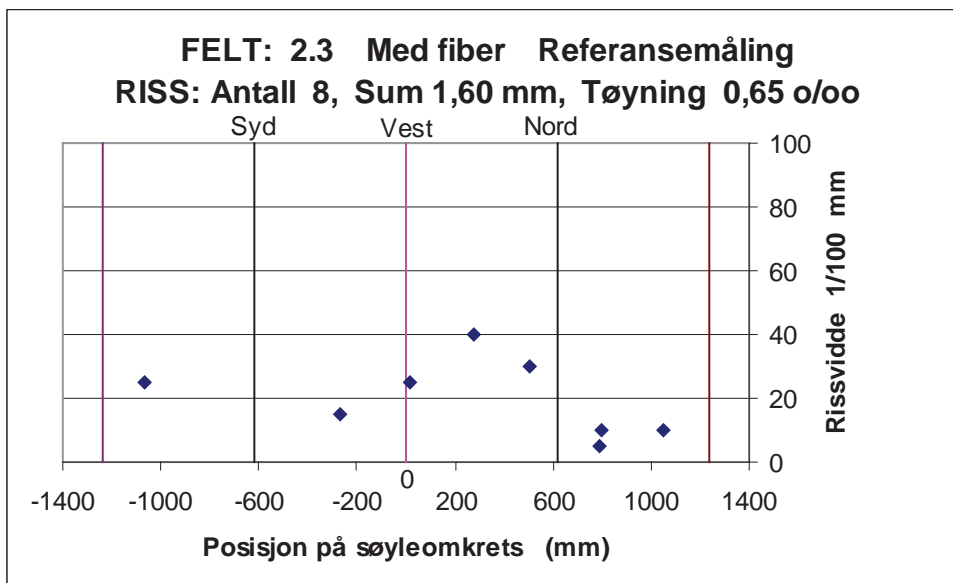


Fig 7 Rissviddemålinger på søyle nr 2. a) 2.3: H= 5,5m, b) 2.2: H=3,5m c) 2.1: H=1,5m

### 2.5.3 Fuktmålinger

Tabell 4	Relativ fuktighet (%) i ulike målepunkter						Temperatur
Dato	1.2.vu	1.2.øu	2.2.vu	1.3.vf	1.3.øf	2.3.vf	(gj.sn./std.avv)
09.09.03	94,1	81,4	87,9	89,9	80,4	91	17,4 / 1,0
13.09.03	91,3	79,3	88,4	86	79,1	89,7	15,3 / 0,6
15.09.03	85,6	78,4	85,6	81,2	76	88,5	17,9 / 1,8
16.09.03	93,3	77,8	90,3	89,6	77,6	91,4	12,6 / 0,9

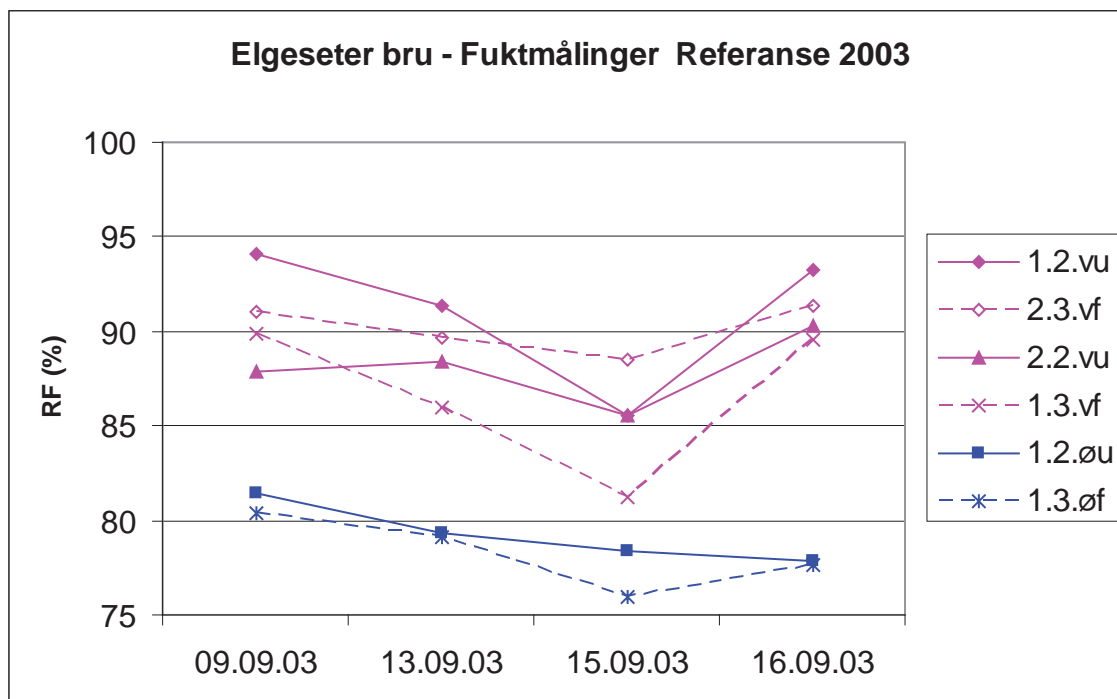


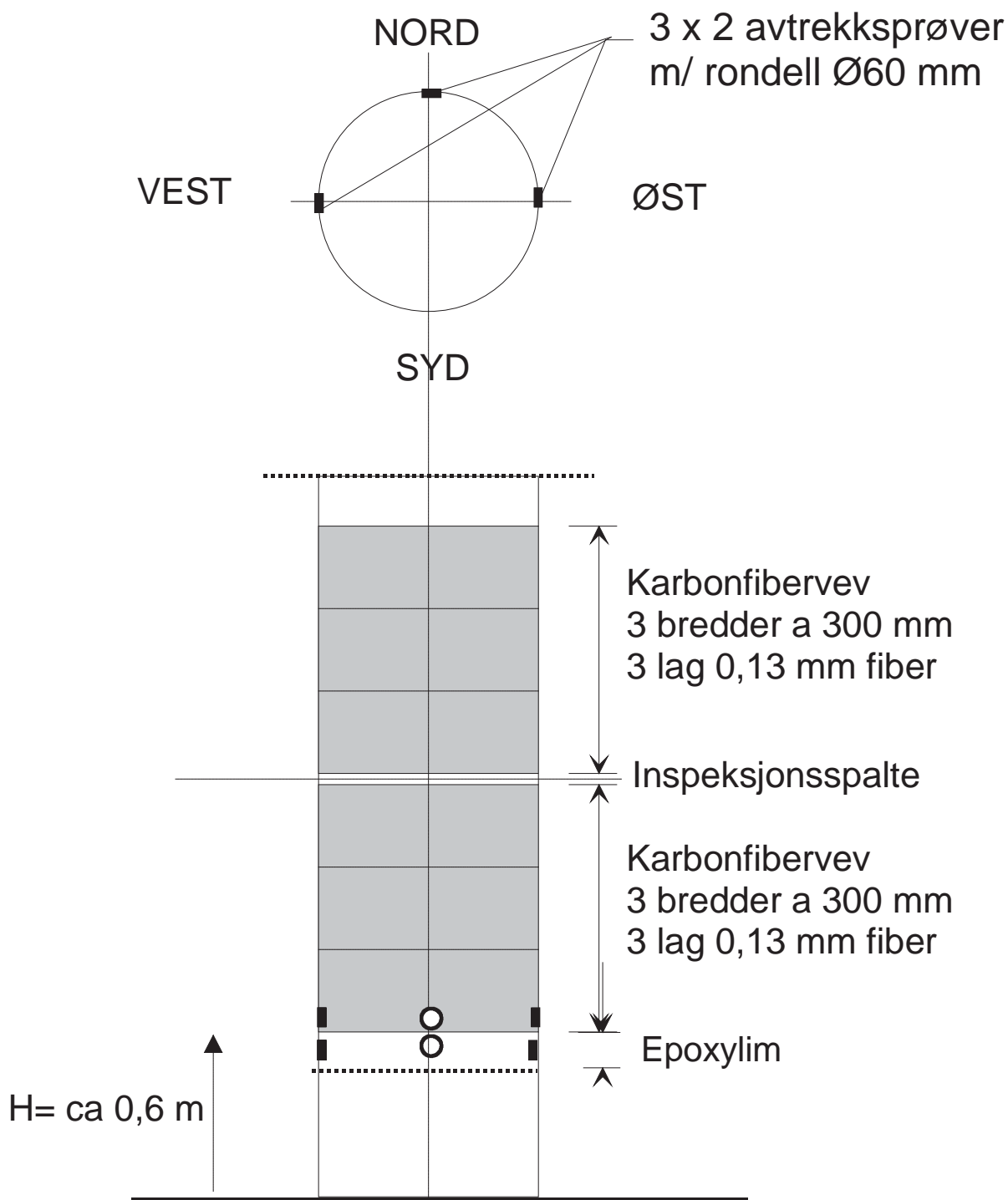
Fig 8 Relativ fuktighet i betong i dybde ca. 5 cm. Referansemålinger september 2003.

Tabell 4 og fig 8 viser resultat av fuktmåling med Humi Guard fuktmålere montert som vist på fig 1 på søyle nr 1 og 2 på nivå 2 (uten fiber) og nivå 3 hvor det ble montert karbonfiberfelt i september 2003. Målerne er montert i et boret hull i betongen og antas representative for den relative fuktigheten i betongen i avstand 5 cm fra betongoverflaten. Målerne har følere for temperatur og RF som er kalibrert fra leverandør. Stabiliteten av målerne antas å ha en begrenset varighet mindre enn ett år. Det er derfor planlagt å montere nykalibrerte målere for hver årlig registrering.

Som ventet viser målingene betydelig høyere RF på søylenes slagregnutsatte vestsida (v) enn på østsida (ø) av søyle nr 1. Gjentatte målinger i dagene 9. – 16 september viser en markert senkning av målte verdier den 15. september. Årsaken til dette er høyst sannsynlig at det denne dagen var relativt sterk sol slik at betongen var under oppvarming på måletidspunktet. Generelt er det ventet at den relative fuktigheten i luften i et kammer inne i betongen vil være i likevekt med fukttilstanden i betongens kapillærporer og således være tilnærmet uavhengig av temperaturen. Ved temperaturendring vil det ta noe tid før utveksling av fuktighet mellom luftkammeret og porene i betongen stabiliserer den relative fuktigheten i luften. Ved måling under relativt hurtig oppvarming vil en registrere en midlertidig redusert relativ fuktighet omtrent som man vil få ved oppvarming av fuktig luft i et rom uten fukttilførsel.

Ved senere sammenligning benyttes målingene 16.09.03 som referanse.

2.5.4 Hefteprøver



**Pøvefelt nr: 2.1**  
**Plassering av avtrekksprøver**

Fig 9 Plassering av avtrekksprøver på fiberbelagt og limt overflate

Måling av avtrekksheftfasthet på den epoksy limte fiberforsterkningen ble foretatt 10-10-2003 etter at fiberkompositten hadde herdet (i relativt kjølig vær) i ca 1 måned.

Prøvene ble tatt nær nedre kant av nedre prøvefelt på søyle 2 dels innenfor fiberfeltet og dels i en ca 10 cm bred epoxybelagt ring uten fiber nederst.

Prøvingen omfatter:

1. Boring av sirkulære spor Ø60 mm med dybde ca 5 mm inn i betongen. Bormaskin festes med ekspansjonsbolt i søylen under prøvefeltet på 3 steder (vest, nord og østside). For hver posisjon bores ett spor i fiberfritt epoksy lag og ett spor i fiberfeltet nær nedre kant. Etter boring (med vann) tørkes forsiktig med varmluftspistol.
2. Liming av stålskiver (rondeller) Ø60. Totalt 6 stk. Den krumme søyleoverflaten krever større limtykkelse enn normalt. (pilhøyde ca 1,2 mm). Limet under stålskivene må få tilstrekkelig herdetid med det kjølige været tatt i betraktning.
3. Avtrekking av stålskivene med en liten rigg med hydraulisk jekk. Helst bør alle limflater være sterke nok til at bruddet går i betongen.

Tabell 5 Avtrekksprøver Elgeseter bru 10-10-2003					
Prøve	Manometer	Kraft	Spenning	Bruddflate	Merknad
	Kp/cm <sup>2</sup>	kN	MPa		
F Vest	420	12,3	4,52	Rondell /lim	Hurtiglim
E Vest	270	7,9	2,90	Rondell /lim	Hurtiglim
F Nord	300	8,8	3,23	Lim/ epoxy	
E Nord	400	11,8	4,30	Lim/ epoxy	
F Øst	310	9,1	3,33	Lim/ epoxy /Interlaminært	
E Øst	360	10,6	3,87	Betong	
Middel			3,7		

Tabell 5 viser resultat av avtrekksprøver dels på fiberfelt (merket F) og dels på felt med bare epoxy lim (merket E) på tre sider av søyle nr. 2.

Prøvene ga en relativt høy middeler verdi på 3,7 MPa avtrekksfasthet. Spredningen var relativt stor. Dette skyldes at mange av bruddene oppsto i kontaktflatene mellom to-komponent limet og stålrondellen eller epoksyoverflaten, antagelig på grunn av den varierende limtykkelsen ved liming på krum overflate.

Fig 10 viser nedkant av prøvefelt på søyle nr 2 etter avtrekksprøving. De viste søyleoverflatene er regnet nedenfra: 1) Ubehandlet betong, 2) Epoxy lim uten fiber, 3) Fiberkompositt (karbonfiber-vev i epoxy) og øverst 4) Fiberkompositt med malt overflate.

Bildet viser også de forskjellige bruddflatene som oppsto ved avtrekksprøvingen. De to prøvene til venstre er prøve F Øst (på fiberfeltet) og E Øst (på epoksyfeltet) med resultat angitt i tabell 5. Prøve F Øst har bruddflate dels mellom lim og epoksy og dels interlaminært mellom fiberlagene. Prøve E Øst har brudd i betongen. De to bruddflatene til høyre er resultat av ekstra prøver gjennomført i 2004 med omtrent samme resultatspredning. Øvre prøve har brudd dels i betongen og dels mellom indre epoksy og fiberlag. Nedre prøve fikk brudd i kontaktflaten mellom to-komponent-limet og stålrondellen.





Fig 10 Foto av nedre ende av felt 2.1 etter avtrekksprøving

Eneste prøve med brudd i betongen ga 3,87 MPa avtrekksstrekkfasthet. Prøveserien indikerer ellers at avtrekksfastheten både i interlaminært i fiberlaget og i betongen kan være over 4 MPa.

Dette indikerer også at skjærfastheten sannsynligvis er over 4 MPa. Dette gir et godt grunnlag for et effektivt samvirke mellom betong og fiberkompositt. Normalt regnes 2 MPa som en akseptabel nedre grense.

## 2.6 Resultater

### 2.6.1 Utførte registreringer

Ekspansjonsmålinger med ekstensometer, rissviddemålinger med rissmal og fuktmålinger med Humi Guard er gjennomført 1 gang hver høst i perioden 2003 – 2008, samt en ekstra måling høsten 2011. Resultater med kommentarer er dokumentert i egen rapport:

STF 2011F0100: Rehabilitering av brusøyler med alkalireaksjonsskader  
Feltforsøk på Elgeseter bru. Registrering 2011, dato 2011-10-25. ref.[10]

I det følgende gis detaljresultater for siste måling i 2011 sammenlignet med referansemåling i 2003.

## 2.6.2 Ekspansjonsmålinger

Tabell 6 Ekstensometermåling og beregnet ekspansjon i perioden sept 2003 – sept 2011

	Felt nr	1.3 med fiber			1.2 uten fiber		
	Dato:	15-09 2003	27-09 2011	2003- 2011	15-09 2003	27-09 2011	2003- 2011
	Ref./korr	15,80	16,26	-0,520	15,80	16,26	-0,520
Område	Posisjon	Ref mål	Avlest	Ekspansj	Ref mål	Avlest	Ekspansj
S6	-1100	15,31	15,88	-0,05	12,04	12,68	-0,12
S5	-900	18,61	19,03	0,10	16,33	17,00	-0,15
S4	-700	11,05	11,68	-0,11	20,63	21,62	-0,47
S3	-500	9,94	10,42	0,04	14,57	15,35	-0,26
S2	-300	3,24	3,43	0,33	23,74	24,36	-0,10
S1	-100	13,01	13,43	0,10	6,39	7,15	-0,24
N1	100	10,75	10,99	0,28	10,73	11,54	-0,29
N2	300	16,22	16,55	0,19	14,30	15,03	-0,21
N3	500	12,43	12,95	0,00	19,19	19,80	-0,09
N4	700	18,12	18,68	-0,04	3,20	4,00	-0,28
N5	900	14,93	15,52	-0,07	3,95	4,77	-0,30
N6	1100	13,80	14,47	-0,15	24,51	25,10	-0,07
Temp		17,0	11,0		17,0	11,0	
Middel ekspansjon		o/oo		0,051			-0,215
standardavvik				0,154			0,116
Risstøyning 2003		o/oo		1,960			1,432
Eksp i % av riss				2,6 %			-15,0 %

Felt nr.	2.3 Med fiber			2.2 Uten fiber			2.1 Med fiber		
Dato:	15-09 2003	27-09 2011	2003- 2011	15-09 2003	27-09 2011	2003- 2011	15-09 2003	27-09 2011	2003- 2011
Ref/korr	15,80	16,25	-0,510	15,80	16,26	-0,520	15,80	16,26	-0,520
Pos	Ref mål	Avlest	Eksp	Ref mål	Avlest	Eksp	Ref mål	Avlest	Eksp
-1100	14,92	15,49	-0,06	16,25	16,68	0,09	8,96	9,40	0,08
-900	17,83	18,34	0,00	16,66	17,22	-0,04	25,63	25,68	0,47
-700	14,10	14,16	0,45	5,98	6,29	0,21	16,20	16,30	0,42
-500	22,94	23,72	-0,27	21,94	22,37	0,09	16,11	16,36	0,27
-300	15,25	15,81	-0,05	3,30	3,78	0,04	13,30	13,40	0,42
-100	3,75	4,05	0,21	6,01	6,53	0,00	15,94	15,90	0,56
100	20,12	20,39	0,24	21,29	21,66	0,15	21,99	22,02	0,49
300	16,37	16,65	0,23	10,58	11,28	-0,18	17,33	17,35	0,50
500	20,67	21,07	0,11	18,59	18,81	0,30	10,96	10,80	0,68
700	12,45	12,74	0,22	12,42	13,01	-0,07	22,82	23,01	0,33
900	19,28	19,58	0,21	19,67	19,87	0,32	13,31	13,19	0,64
1100	11,10	11,35	0,26	15,24	15,42	0,34	17,16	17,10	0,58
Temp	17,0	11,0		17,0	11,0		17,0	11,0	
Middel ekspansj.		o/oo	0,129			0,103			0,454
Standard avvik			0,193			0,167			0,167
Risstøyning 2003		o/oo	0,647			0,808			1,289
Eksp i % av riss			20,0 %			12,8 %			35,2 %

### 2.6.3 Rissviddemålinger

Tabell 7 Rissviddemåling sept 2011 sammenlignet med referansemåling 2003

Felt 1.3 Med fiber			Felt 1.2 Uten fiber		
Dato	12-09-2003	27-09-2011	Dato	12-09-2003	27-09-2011
Posisjon	Rissvidde	Rissvidde	Posisjon	Rissvidde	Rissvidde
mm	1/100 mm	1/100 mm	mm	1/100 mm	1/100 mm
-820	35	45	-885	5	10
-640	25	35	-625	45	40
-250	80	80	-315	90	80
65	110	105	-100	5	10
360	90	95	140	80	85
630	130	140	365	35	40
990	5	5	530	25	35
1250	10	10	620	5	5
			650	10	25
			875	25	35
			1240	30	30
Antall	8 stk	8 stk	Antall	11 stk	11 stk
Sum rissv. mm	4,85	5,15	Sum rissv. mm	3,55	3,95
Omkrets mm	2475	2475	Omkrets mm	2479	2479
Sum/Omkr	1,960 o/oo	2,08 o/oo	Sum/Omkr	1,432 o/oo	1,59 o/oo
Økning	% av ref.:	6,2 %			11,3 %

Felt 2.3 Med fiber			Felt 2.2 Uten fiber			Felt 2.1 Med fiber		
Dato	12-09-2003	27-09-2011	Dato	12-09-2003	27-09-2011	Dato	12-09-2003	27-09-2011
Posisjon	Rissv.	Rissv.	Posisjon	Rissv.	Rissv.	Posisjon	Rissv.	Rissv.
mm	1/100 mm	1/100 mm	mm	1/100 mm	1/100 mm	mm	1/100 mm	1/100 mm
-1070	25	25	-1070	15	20	-825	15	20
-785		10	-695	5	20	-720		10
-270	15	20	-220	40	50	-635	15	15
-130		3	-55	20	30	-450	45	45
20	25	20	165	25	45	-420	10	15
275	40	40	580	50	55	-150	40	45
505	30	35	825	30	40	55	30	35
792	5	15	1110	15	20	230	60	70
800	10	25				365	10	10
1054	10	15				480	15	30
						585		5
						775		5
						890	45	65
						1185	35	40
Antall	8 stk	10 stk	Antall	8 stk	8 stk	Antall	11stk	14 stk
Sum riss (mm)	1,60	2,08	Sum riss (mm)	2,00	2,80	Sum riss (mm)	3,20	4,10
Omkrets (mm)	2473	2473	Omkrets (mm)	2475	2475	Omkrets (mm)	2483	2483
S/O o/oo	0,647	0,84	S/O o/oo	0,808	1,13	S/O o/oo	1,289	1,65
Økning	% av ref	30,0 %			40,0 %			28,1 %

## 2.6.4 Fuktmålinger

Tabell 8 Utvikling av relativ fuktighet (%) i perioden 2003 - 2011

Dato	1.2.vu	1.2.øu	2.2.vu	1.3.vf	1.3.øf	2.3.vf	Temp
16.09.03	93,3	77,8	90,3	89,6	77,6	91,4	12,6
19.09.04	90,4	79,7	91	91,6	84,3	96,7	13,8
14.10.05	94,7	82,5	95,3	98	86,4	98	8,7
27.09.06	88,3	80,5	91,9	97,4	84,2	97,5	13,5
04.10.07	86,6	80,4	92,9	98	85,5	98	9
27.10.08	82,3	78,3	89,2	95,4	84,1	95,6	6
20.10.11	85,3	78,8	91,1	97,1	87,5	96,6	5

Elgeseter bru - fuktmålinger 2003 - 2011

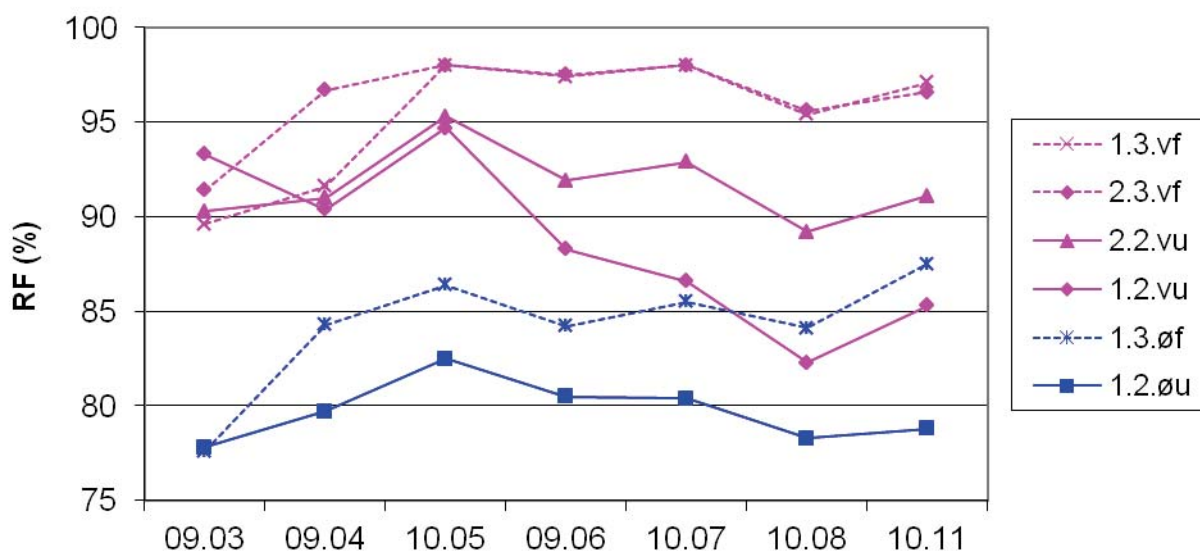


Fig 11 Utvikling av relativ fuktighet i betongsøylene i perioden 2003 – 2011

## 2.7 Analyse av resultater

### 2.7.1 Fuktmålinger

Fuktmålingene er, som ved tidligere registreringer, utført med nye følere. Fuktutviklingen, vist i fig 11, viser at det generelle fall i fuktighetsnivået som ble registrert for alle målepunkter fra oktober 2007 til oktober 2008 er delvis reversert i perioden 2008 - 2011. Hovedtendensen er fortsatt at målepunktene under fiberlag (stiplede linjer) har fått en varig fuktighetsøkning fra utgangspunktet i 2003. Målerne i områder uten fiberlag viser fall i fuktigheten fra toppnivåen målt i 2005. Spesielt gjelder dette måler 1.2.vu på vestsiden av søyle 1 hvor fallet er ca. 10 % RF.

### 2.7.2 Rissvidder

Utviklingen av rissviddene i 8-års perioden 2003 – 2011 vist i tabell 7 er illustrert for hvert enkelt målefelt i figurene 12 – 16. Som det framgår av figur 12 – 13 er det bare en ubetydelig utvikling av rissene i søyle 1. Rissviddesummen har bare økt med 0,3 – 0,4 mm tilsvarende 5 – 11 % av referanseverdiene.

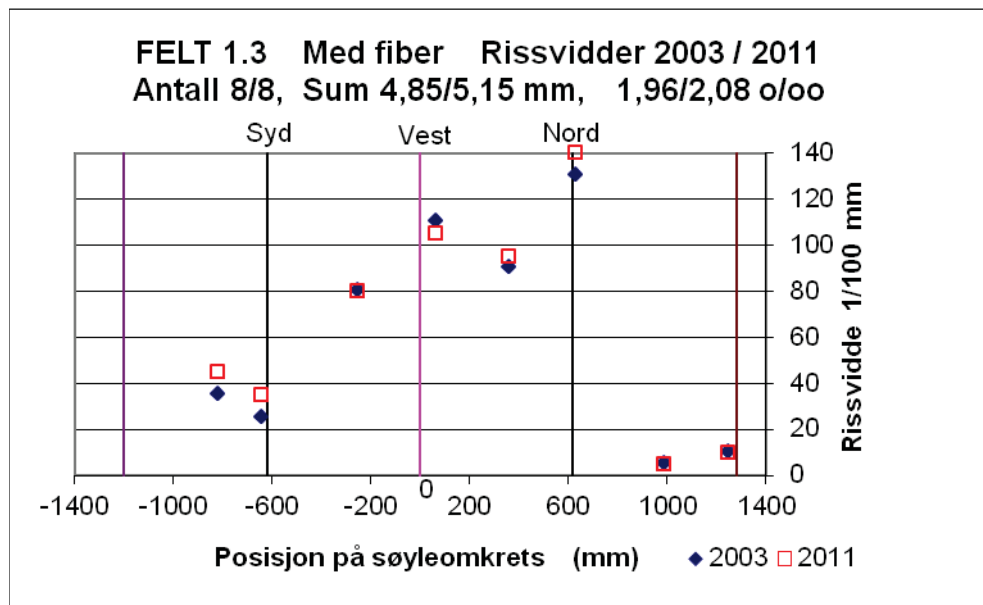


Fig 12 Rissutvikling felt 1.3

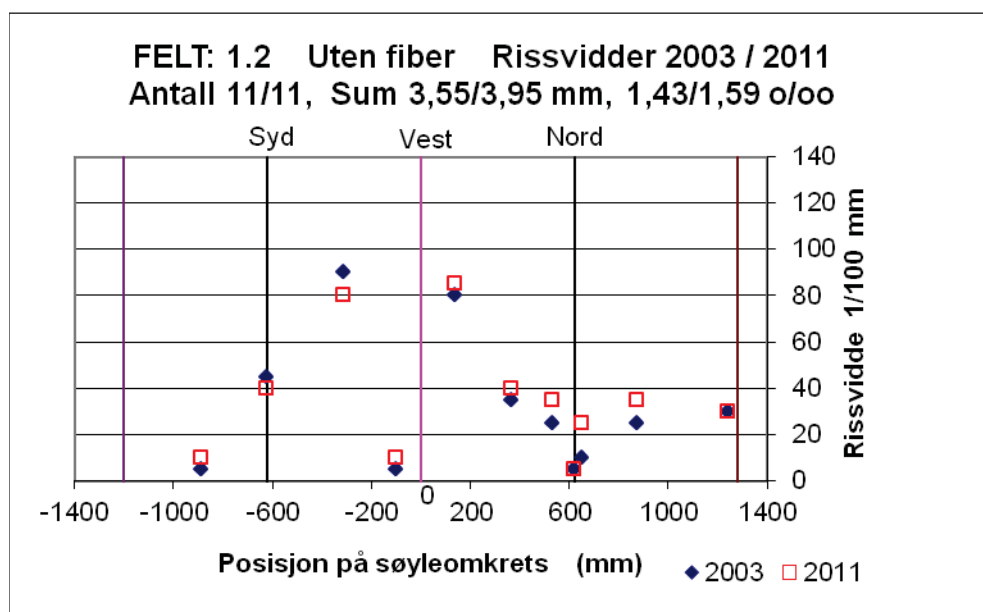


Fig 13 Rissutvikling felt 1.2

I de tre feltene i søyle 2 (Fig 14 -16) har rissviddesummen økt med 0,48 – 0,90 mm. Dette gir en gjennomsnittlig prosentvis økning av rissummen på ca. 32 % i forhold til startverdiene. Største økning av en enkelt rissvidde er 0,2 mm.

I felt 2.3 og 2.1 med fiber har antall riss økt fra henholdsvis 8 og 11 til 10 og 14 riss. Tilleggsrissene kan skyldes fiberomviklingens rissfordelende effekt, men da tilleggsrissene er små ( $\leq 0,1$  mm) og ble registrert tidlig i måleperioden, kan det også være at rissene ble oversett ved referanseregistreringen.

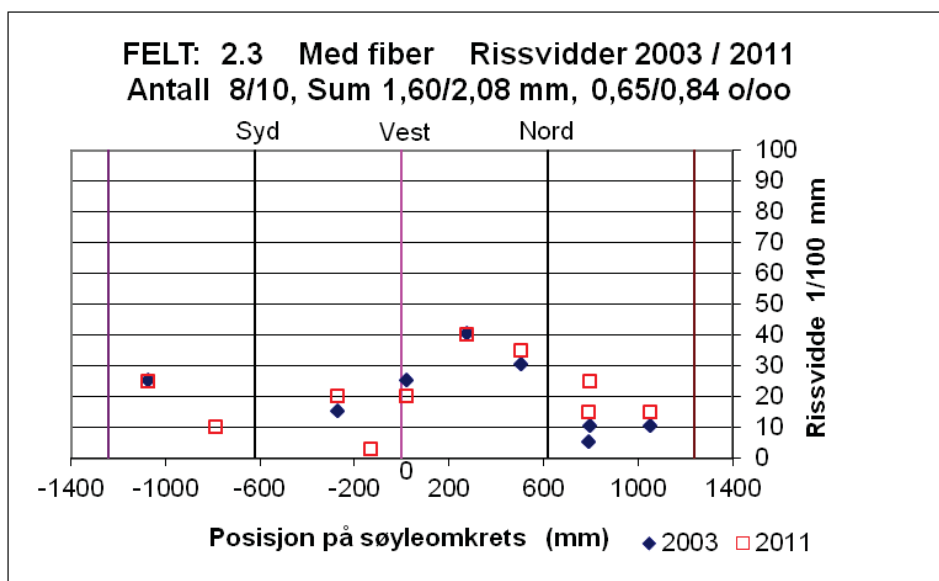


Fig 14 Rissutvikling felt 2.3

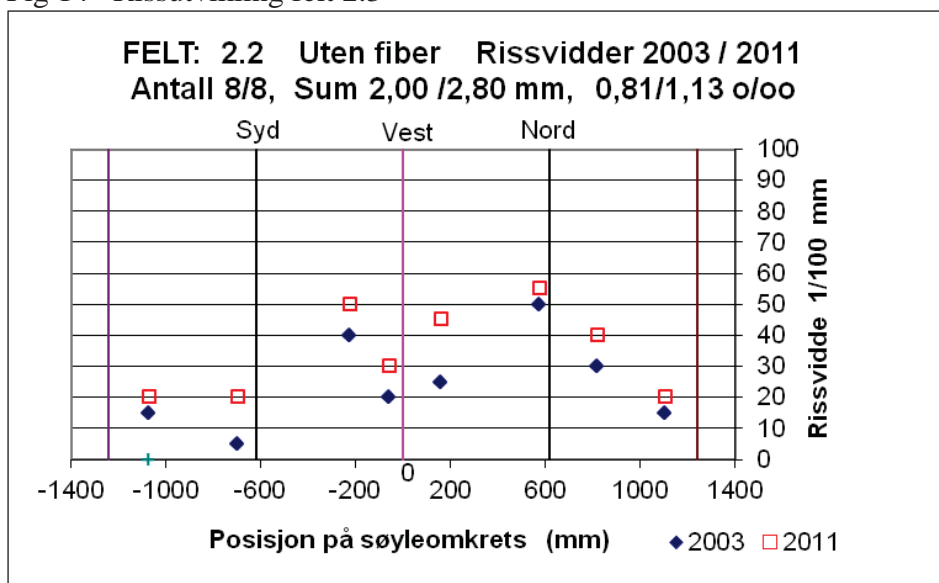


Fig 15 Rissutvikling felt 2.2

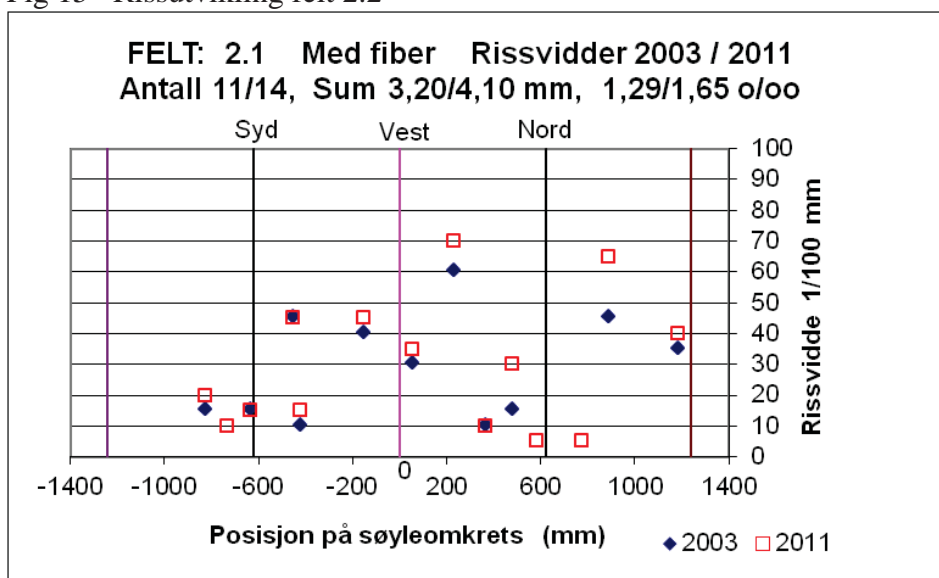


Fig 16 Rissutvikling felt 2.1

### 2.7.3 Ekstensometermålinger

Ekstensometermålingene i tabell 6 viser en tendens til negativ ekspansjon (svinn) av søyle nr.1 på nivå 2 uten fiber.(Se fig 17). For søyle 2 viser ekstensometermålingene en fortsatt langsom ekspansjon på nivå 1 med fiber mens både på nivå 2 uten fiber og nivå 3 med fiber viser ekstensometermålingene tilnærmet null utvikling i de siste 3 år.(Se fig 18).

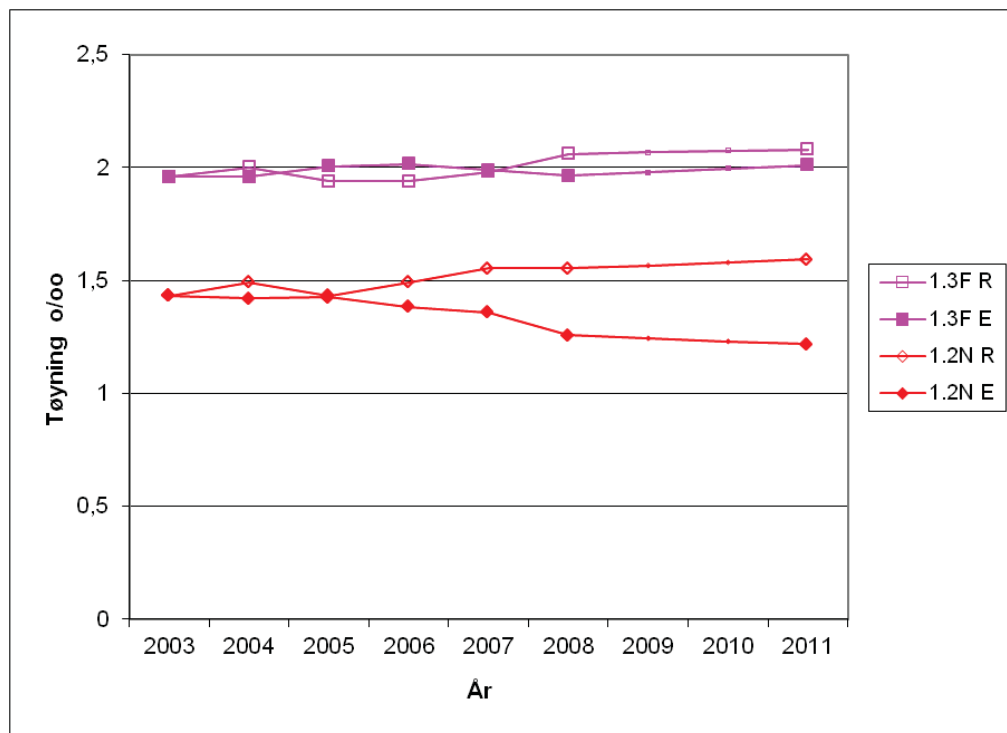


Fig 17 Målt ekspansjonsutvikling for søyle 1 på nivå 3 med fiber (F) og nivå 2 med naken overflate (N) basert på ekstensometermåling (E) og rissviddemåling (R).

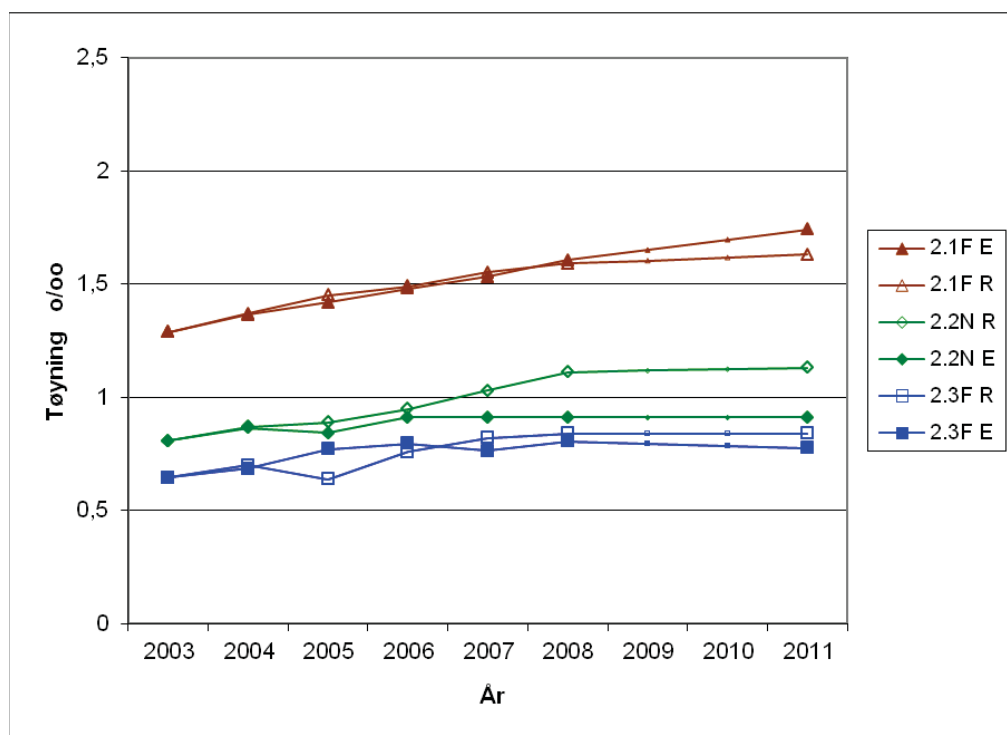


Fig 18 Målt ekspansjonsutvikling for søyle 2 på nivå 1-3 basert på ekstensometermåling (E) og rissviddemåling (R).

### 2.7.4 Forhold mellom "risstøyning" og ekstensometermåling

Figur 17 og 18 viser målt ekspansjonsutvikling for de enkelte felt for begge målemetoder for henholdsvis søyle 1 og 2. Utgangspunktet i 2003 er beregnet "risstøyning" basert på målt rissviddesum dividert på søyleomkretsen. Figurene illustrerer at det fortsatt er relativt god overensstemmelse mellom de to målemetodene for alle felt med fiber, men at det i de siste 5-6 år har oppstått et markert sprik mellom målingene for feltene på nivå 2 med naken overflate(uten fiber).

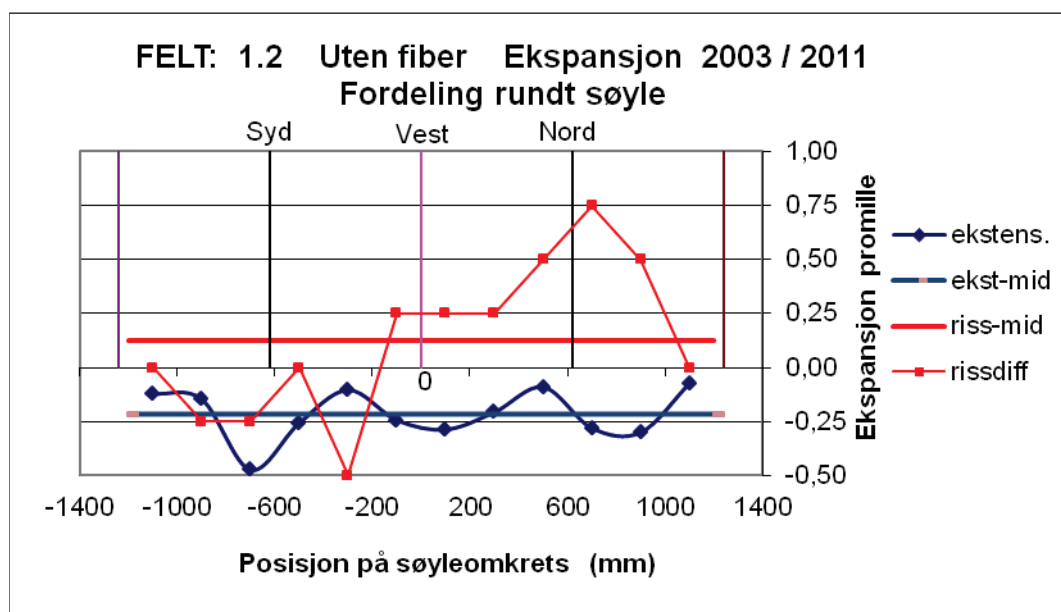


Fig 19 Tøyingsfordeling langs søyleperiferien i felt 1.2 uten fiber.

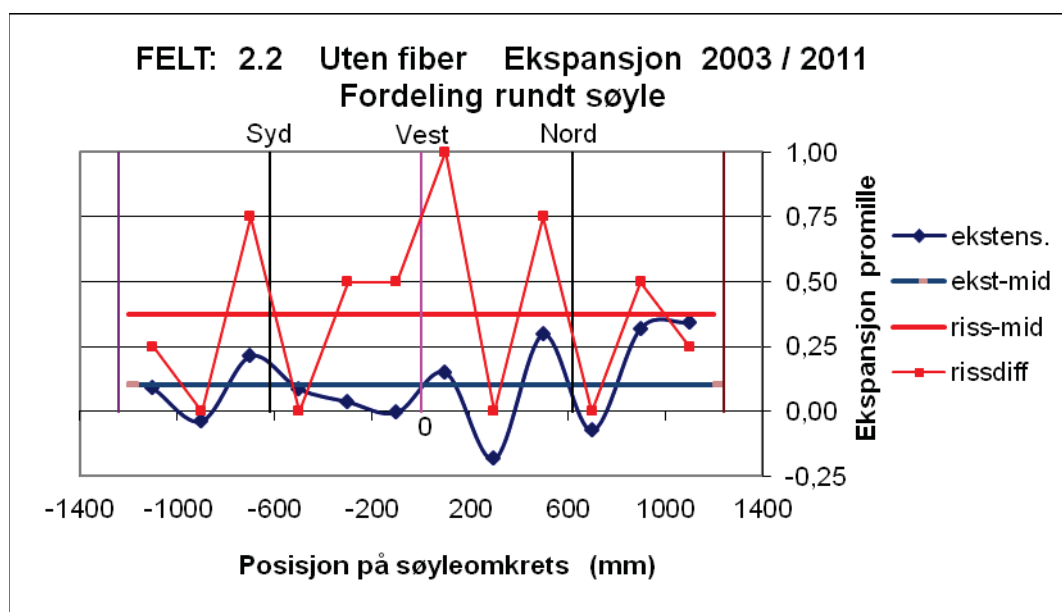


Fig 20 Tøyingsfordeling langs søyleperiferien i felt 2.2 uten fiber.



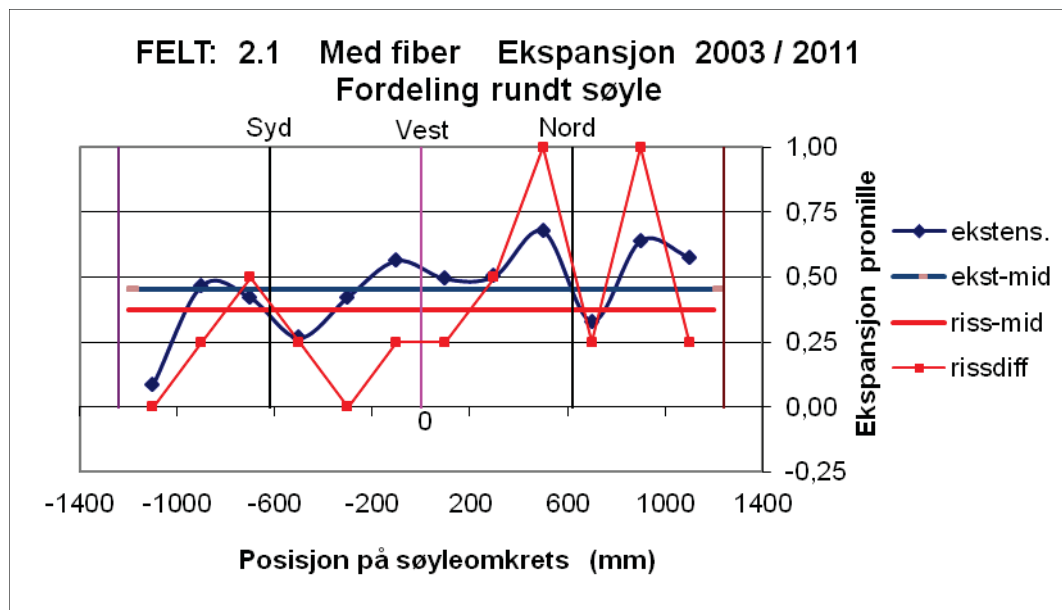


Fig 21 Tøyningsfordeling langs søyleperiferien i felt 2.1 med fiber.

Figur 19 - 21 viser mer detaljert hvordan tøying målt med ekstensometer og rissmal fordeler seg rundt søylen for felt 1.2 og 2.2 uten fiber og felt 2.1 med fiber. Risstøyningen er beregnet som rissum innenfor hver søylesektor med buelengde 200 mm dividert med buelengden angitt i promille. (Størrelsene er generelt små. 1 promille tøying tilsvarer bare 0,2 mm rissvidde).

Fig 19 viser at ekstensometermålingene i felt 1.2 uten fiber pendler omkring middelveidien -0,21 o/oo (svinn). I søndre del av omkretsen viser også rissviddene avtagende tendens, men i nordre halvdel (hvor rissene i utgangspunktet var små) har rissene hatt en markert utvidelse. Maksimal lokal differanse er ca 1 o/oo (0,2 mm).

Fig 21 viser relativt god overensstemmelse mellom lokal risstøying og ekstensometermålinger i felt 2.1 med antatt tre lag fiber. Middelveidene er temmelig like (0,45 / 0,38 o/oo). Lokale maksimum og minimumsverdier opptrer i hovedsak i samme sektor, men variasjonen i risstøying gir lokalt større utslag. Maksimal lokal differanse hvor riss eksisterer er ca. 0,3 o/oo tilsvarende 0,06 mm rissvidde. Antatt målenøyaktighet for rissviddene er av samme størrelsesorden.

Da det samtidig er observert en reduksjon av fuktighetsnivået med 5 – 10 % RF i betongen nær overflaten i de nakne feltene, kan avviket delvis skyldes forskjellig virkning av svinn på de to målemetodene. Ekstensometermålingene viser entydig endringen i søylens omkrets og dermed også endringen i søylens diameter, og avspeiler den resulterende gjennomsnittsvirkning av ekspansjon og svinn for søyletverrsnittet som helhet. Endringen av rissviddesummen framkommer imidlertid som differansen mellom endringen av omkretsen og endringen av tøyingen i betongen mellom rissene. Spesielt dersom svinnet er mer markert i betongen nær overflaten, og betongen har mulighet til lokal sammentrekning i ringretningen i overflatesjiktet mellom rissene, kan resultatet bli at rissviddesummen øker mens omkretsen er tilnærmet konstant eller avtagende.

I felt med fiber vil en slik utvikling motvirkes både fordi fiberlaget er forventet å stabilisere fuktigheten i tverrsnittet og fordi fibre i epoksy med god heft til betongen forventes å bidra til jevne ut tøyingene i overflaten.

Det observerte avviket mellom rissum / omkrets og målt gjennomsnittstøyning i søyleperiferien på ca. 0,3 o/oo i de nakne feltene på nivå 2 er dog såpass stort at det vanskelig kan forklares med virkning av vanlig svinn på grunn av en begrenset nedgang i fuktnivået nær overflaten.

Utvikling av grove riss i betongoverflaten med raskt avtagende rissvidde innover i betongen i massive betongkonstruksjoner synes å være en svært vanlig senvirkning av alkalireaksjoner.

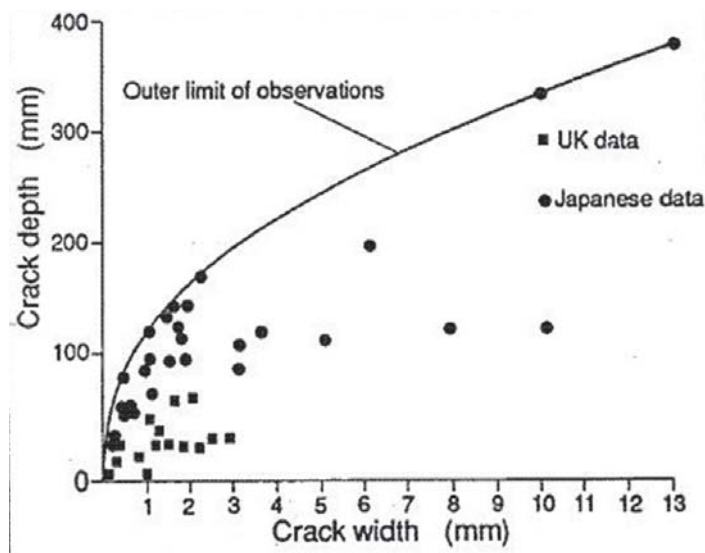


Fig 22 Sammenheng mellom rissvidde i overflaten og dybden av makroriss pga. alkalireaksjoner

Figur 22 viser en del data fra UK og Japan som indikerer at grove riss på overflaten har varierende men begrenset dybde. Riss med vidde 1 – 2 mm kan være så grunne som 30 mm, men typiske verdier er i området  $100 \pm 50$  mm. Lignende dybder er registrert i Norge. Det er ikke foretatt systematiske undersøkelser på søylene i Elgeseter bru, men enkelte utborete prøver har vist rissdybder inn til og litt forbi armeringen, dvs. ca. 70 – 100 mm.

Grove riss i overflaten er forsøkt forklart med at det ofte er mindre ekspansjon i fordelte mikroriss i overflatesiktet på grunn av gjennomsnittlig lavere fuktighet (svinn) og utvasking av alkalier. Da rissavstanden mellom grove riss ofte er 300 – 400 mm, dvs. mer enn det dobbelte av rissdybden, er det vanskelig å tenke seg at rissene skal kunne åpne seg så mye uten at de har sammenheng med delamineringsriss parallelt overflaten for eksempel i nivå med armeringen. Slike riss forekommer relativt ofte i massive konstruksjoner. Om slike riss finnes i søylene i Elgeseter bru er ikke påvist. En tilleggsforklaring på forekomsten av grove grunne riss kan være at det skjer en spesiell ekspansjon i delamineringsriss nær hovedrisset på grunn av tilførsel av vann i slagregnsutsatte riss, og kanskje også at det kan oppstå frostsprengning her. Slike lokaleffekter kan føre til at risset "spriker" ut mot overflaten og gir en tilleggsåpning av risset som ikke har sammenheng med den generelle ekspansjon av konstruksjonens indre.

### 2.7.5 Gjennomsnittlig ekspansjonsutvikling

Fig 23 viser målt ekspansjonsutvikling beregnet som middelerverdier av resultatene fra de to måle-metodene for alle felt i hver av de to søylene. Figuren viser tilnærmet null ekspansjonsutvikling i den mest slagregnutsatte søyle nr 1 (mot vest) med ubetydelige avvik fra en stiplet trendlinje med konstant ekspansjon lik 1,7 o/oo.

For søyle nr 2, med en lavere referanseverdi i 2003 lik 0,91 o/oo, var det god overensstemmelse med en innlagt trendlinje tilsvarende 0,05 o/oo ekspansjon per år i 5-års perioden 2003 – 2008, men målingene i 2011 tyder på at ekspansjonen også i denne søylen er i ferd med å stoppe opp.

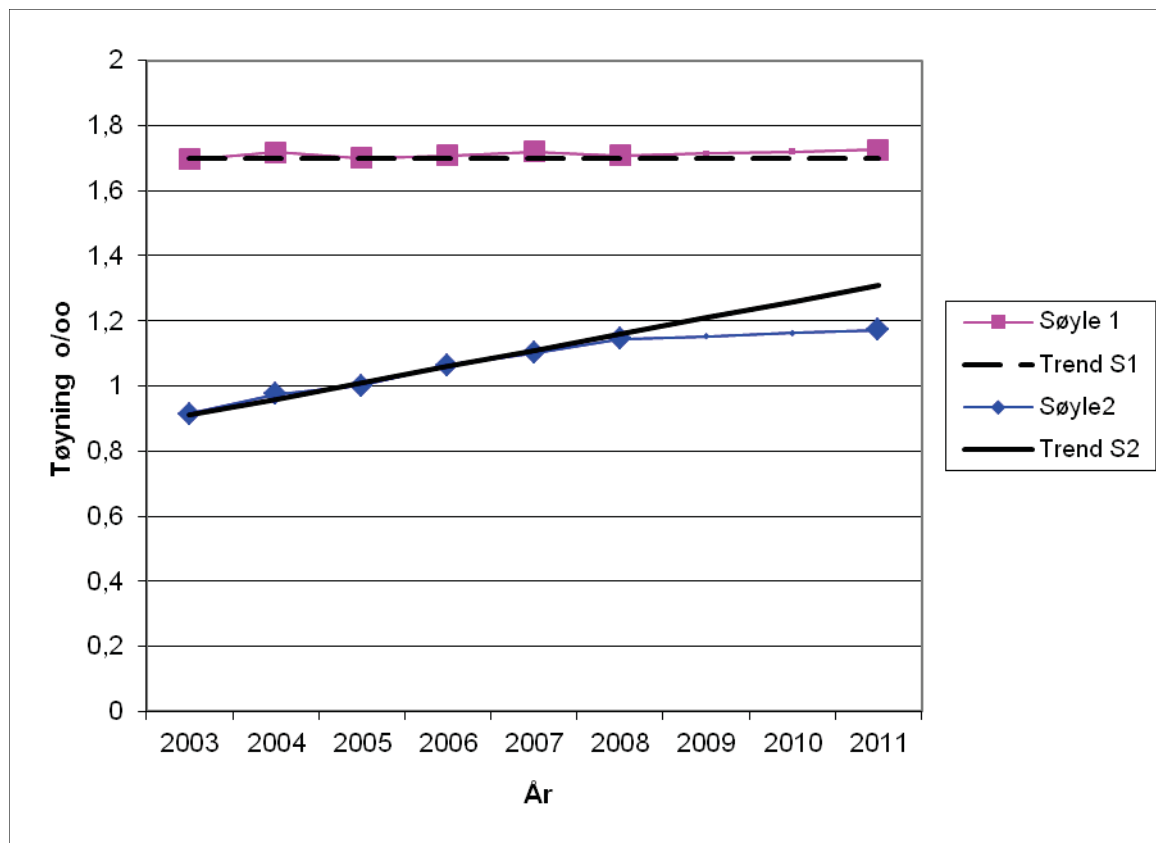


Fig 23 Midlere ekspansjonsutvikling for søyle 1 og 2.

Feltforsøket omfatter bare to søyler på land ved sydenden av brua (akse 2). Det kan derfor stilles spørsmål om i hvilken grad tendensen til at ekspansjonen stopper opp gjelder generelt for hele brukonstruksjonen. Informasjon om dette kan fås ved å sammenligne resultatene i figur 23 med resultater av de omfattende feltmålinger som er gjennomført.

### 3 Oppsummering av feltmålinger

#### 3.1 Forlengelse av brubanen

Figur 24 viser at fugen mellom bjelkeendene og vederlaget i nordenden av den 200 m lange brua ble redusert fra 188 mm til 24 mm i løpet av de første 50 år av bruas levetid ref.[9]. Dette skyldes at brudekket, som er fastholdt i sydenden, har ekspandert ca. 3,3 mm /år. En samlet ekspansjon på 164 mm tilsvarer 0,82 o/oo relativ ekspansjon av brudekket.

Etter at fugen ble rehabilitert i 2003 er fugebredden målt igjen i 2004 og 2012. av Region Midt. Målingene viser en helt ubetydelig reduksjon av fugen (3 mm) i løpet av de siste 8 år. Dette gir en sterk indikasjon på at alkaliekspansjonen av brudekket har så å si stoppet opp.

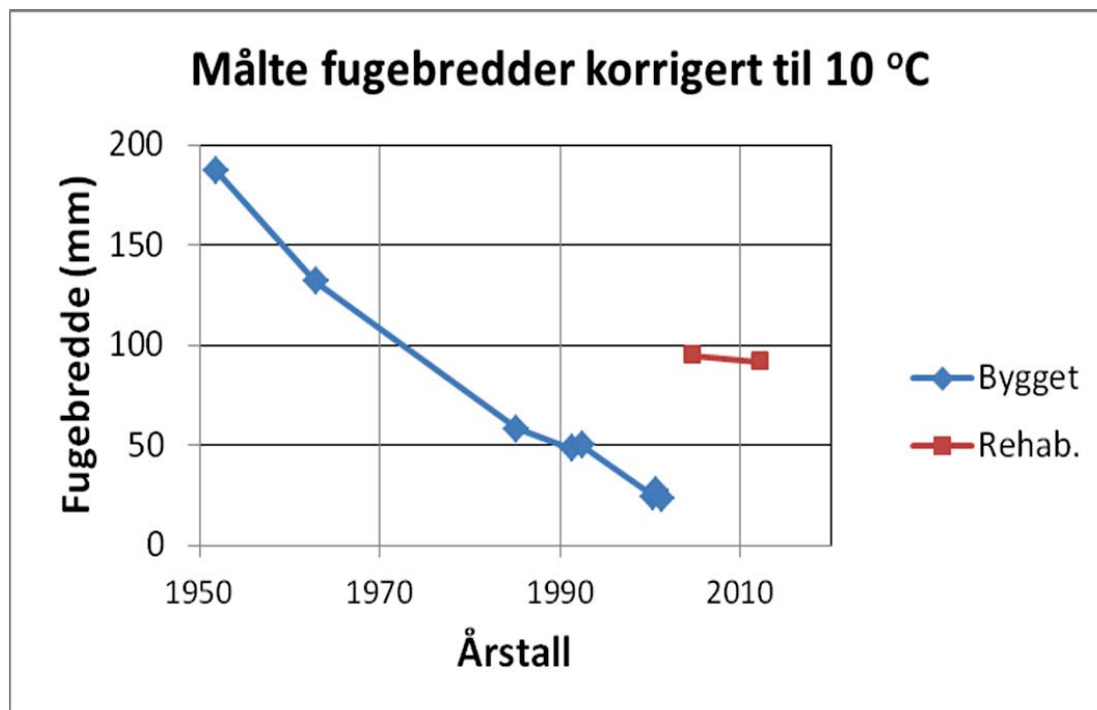


Fig 24 Målt reduksjon av fugebredden ved nordenden av Elgeseter bru.

Retardering av alkalieekspansjon skyldes hovedsakelig redusert fuktighet og/eller redusert alkalitet i betongen. En kan nok ikke se bort ifra at fornying av asfaltdekket på brua i forbindelse med rehabiliteringen i 2003 kan ha påvirket fuktigheten selv om det ikke er lagt noen egentlig membran som hindrer fukttilgang helt. Ekspansjonsmålingene i feltforsøket på søylefelt 1.3 viser imidlertid at ekspansjonen av betongen i brusøylerne kan stoppe helt opp (fig 17) selv om fuktigheten er konstant over 90 % RF (fig 11).

### 3.2 Måling av enkeltriss på brusøyler i akse 2 og 9

Målingene er presentert i detalj i NBTL-rapport 11257 2011-05-12 Elgeseter bru: Fukt og dilatasjonsmålinger til 24. okt. 2011 Ref. [7].

Fig 25 viser skjematisk plan av søylene med nummerering av søyler (akse 2 – 9, søylerekke 1 – 4 fra vest) og målepunkter (1 – 25). Målingene inkluderer tre-punkts dilatasjonsmåling med ekstensometer lokalt ved riss samt fuktmåling med raminpinner i to dybder. En del punkter omfatter bare fuktmåling.

Målingene startet opp med 8 punkter i 1995 og er senere supplert i forbindelse med forsøksvis overflatebehandling med silanprodukter av utvalgte søyler. (Søyle 9.3: Wacke Cream sept 1999, Søyle 9.1 Masterseal okt. 1999, Søyle 2.1 Dynasilan juli 2000) og etter generell påføring av Cem-Elastic på søylene i akse 5 – 9 i 2003.

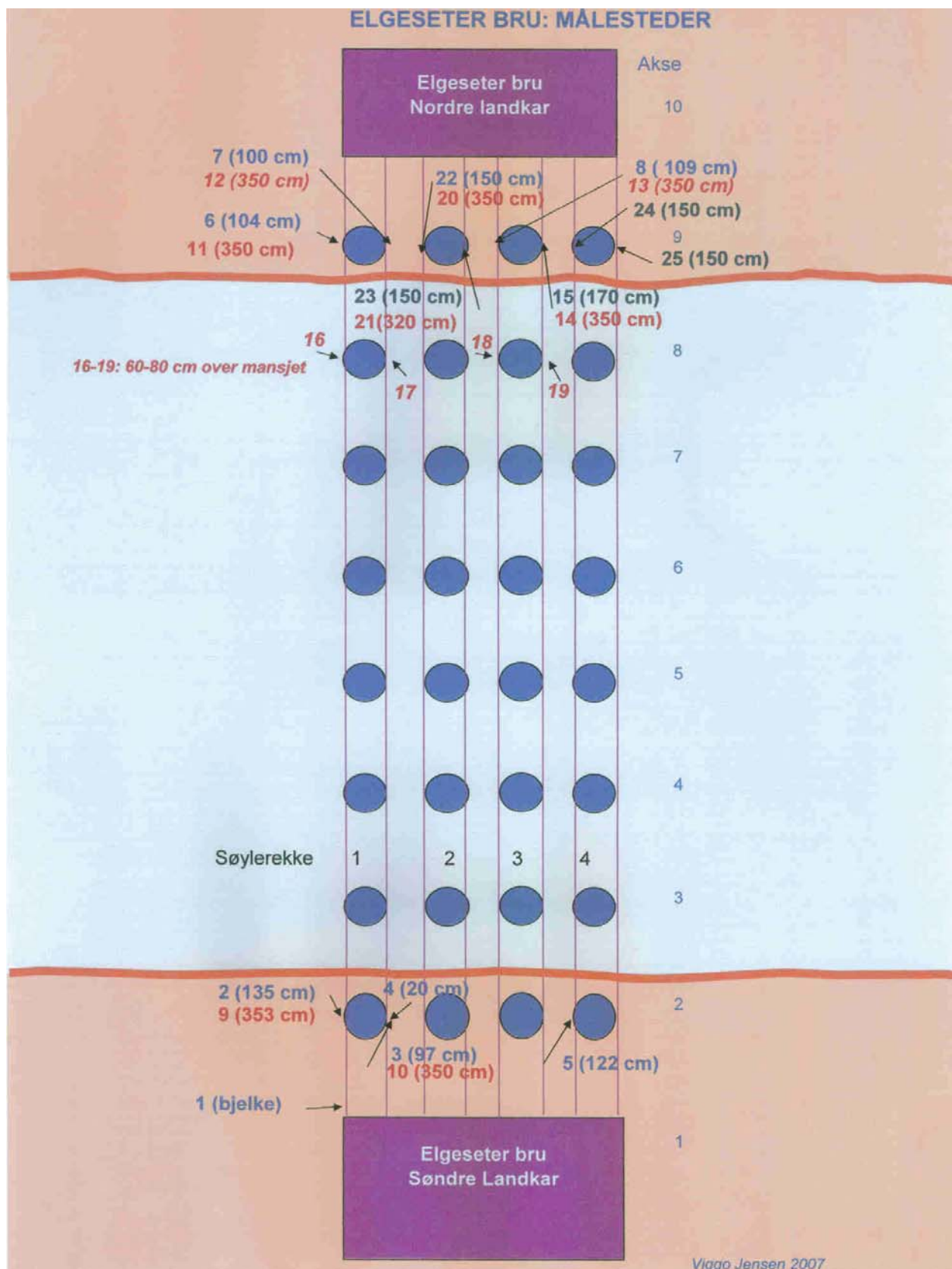


Fig 25 Skjematisk plan av søylene på Elgeseter bru med angivelse av målesteder for fukt/riss [7].

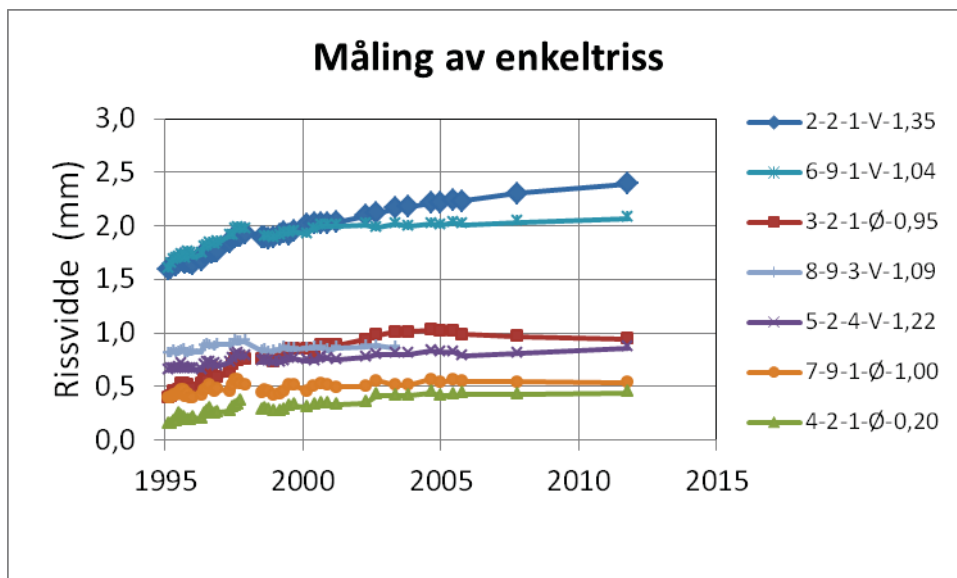


Fig 26 Målepunkter etablert 1995.

Søyle 9-1 Masterseal SL okt 1999, Søyle 9-3: Wacker BS Cream C sept 1999, Søyle 2-1: Dynasyilan BHN juli 2000. Søyle 2-4: Ingen behandling, Alle søyler akse 9: Cem-Elastic 2003  
Tegnforklaring: målepunktnummer – aksenr. – rekkenr – Vest/øst side- høyde over bakken (m)

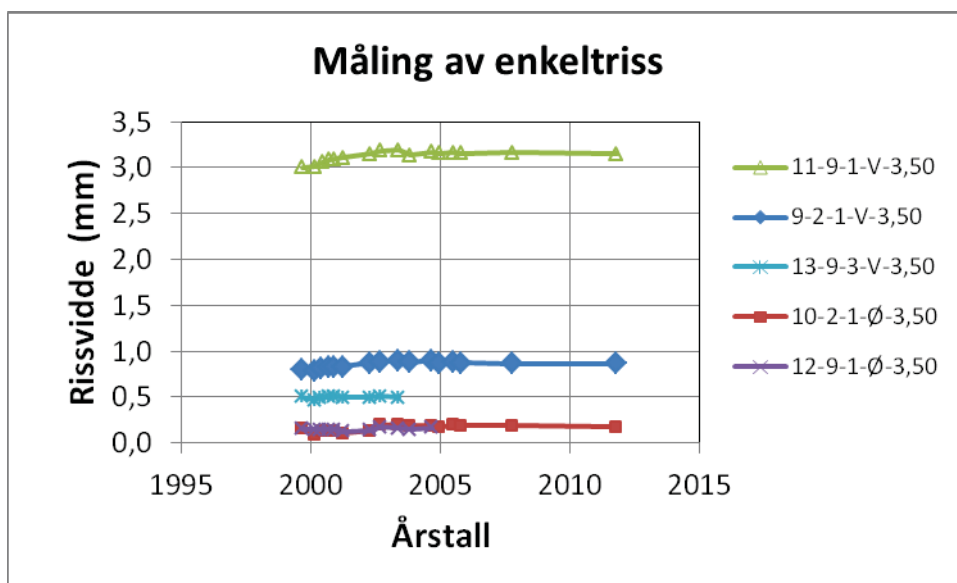


Fig 27 Målepunkter etablert før overflatebehandling med silanprodukter 1999.  
Høyde over terreng: 3,5 m.

Målingene viser nesten entydig at rissviddene har vært tilnærmet stabile siden 2003. Unntaket er målepunkt 2, søyle 2.1.V hvor risset har utvidet seg ca 0,2 mm i perioden. Målepunkt 3 på østsiden av samme søyle viser imidlertid en tendens til reduksjon av rissvidden. Målepunktene 9 og 10 i 3,5 m høyde ligger innenfor felt 1.2 i feltforsøket og bekrefter at det ikke har vært noen merkbar ekspansjon av denne søylen i forsøksperioden 2003-2011. Målepunkt 2 antas derfor å avspeile en tilfeldig "spriking av et enkeltriss".

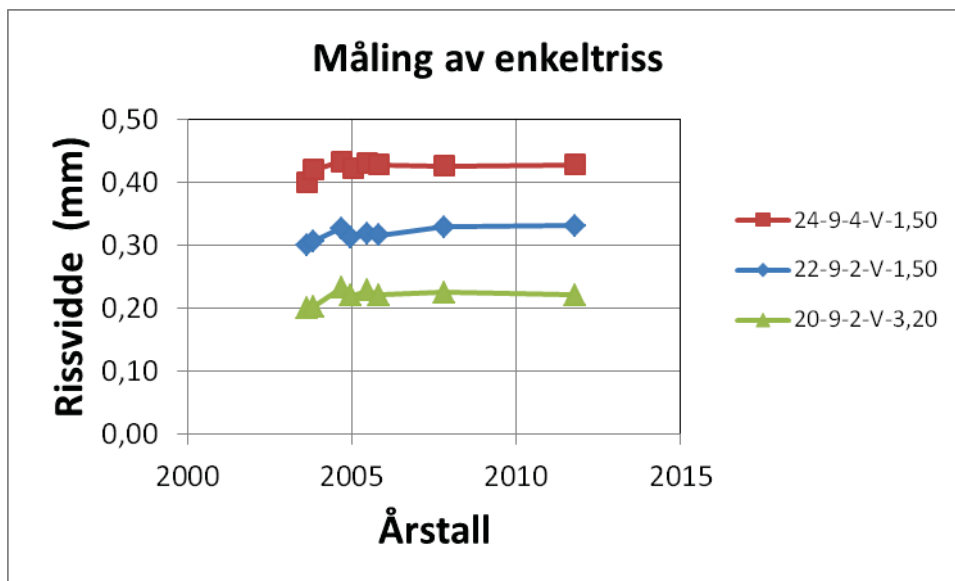


Fig 28 Målepunkter Søyler 9-2 og 9-4 etablert i forbindelse med overflatebehandling med Cem-Elastic 2003. (Startverdi for rissvidder ukjent. Verdier tilfeldig valgt).

Fig 28 viser rissutviklingen etter påføring av Cem-Elastic i tre målepunkter på søyler som ikke er behandlet med silanprodukter tidligere. Etter en liten utvidelse like etter etablering av målepunktene er rissviddene også her konstante i de siste 6 år.

### 3.3 Måling av rissviddesum rundt foten av alle søyler

Målingene er presentert i detalj i NBTL-rapport 11257 2011-05-12 Elgeseter bru: Fukt og dilatasjonsmålinger til 24. okt. 2011 Ref. [7]

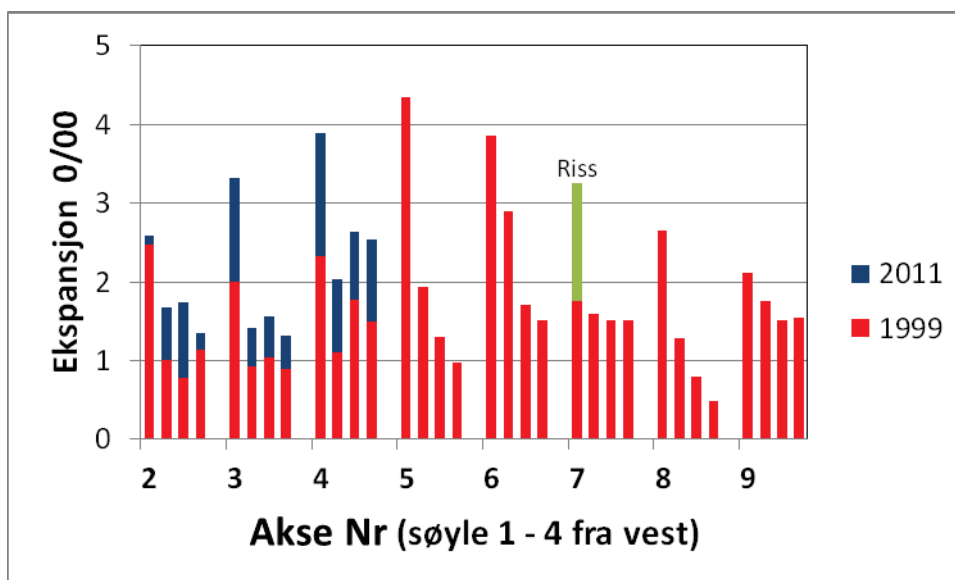


Fig 29 Ekspansjon beregnet som målt rissviddesum dividert på søyleomkrets (2,5 m). I 2011 ble det kun foretatt nye målinger i akse 2-4.

Figur 29 viser rissviddesum for alle søyler målt langs periferi i høyde ca. 0,8 m over stålmantel i elva eller over bakken på land (akse 2 og 9) gjennomført i 1999. Målingene med rissmal er gjentatt etter 12 år i 2011 for søyler akse 2 – 4, som ikke ble tildekket med Cem-Elastic i 2003.

Målingene viser grovt sett at den observerte ekspansjon i nedre del av søyle akse/nr 2/2 (tilsvarende felt 2.1 i feltforsøket) på ca 0,06 o/oo per år er noenlunde representativ for søylene i akse (2 – 4) nr (2-4). De vestlige søylene i akse 3 og 4 har fått omtrent dobbelt så stor ekspansjon (ca 0,12 o/oo pr år) mens vestlig søyle i akse 2 (som tilsvarende søyle 1 i feltforsøket) er spesiell ved at det nesten ikke har vært noen ekspansjon de siste 12 år.

Søylene i akse 5- 9 var ikke tilgjengelige for rissmåling, men inspeksjon i 2011 viste at det bare er søyle 7/1 som har fått synlige riss 8 år etter behandlingen med Cem-Elastic. I denne søylen er det observert et par riss i overflatebehandlingen hvorav det største har en rissvidde på ca. 0,7 mm. Med samme årlige rissviddeøkning i perioden 1999 – 2003 synes det rimelig å anta at risset i betongen under overflatebehandlingen har utvidet seg omtrent 1,1 mm siden målingen i 1999. Dette er i samme størrelsesorden som utvidelsen av de største rissene i de ubehandlede vestlige søylene i akse 3 og 4 hvor det er observert økning av vidden av de største rissene med 1,0 – 1,4 mm i løpet av 12 år. Dette indikerer at søyle 7/1 har hatt noenlunde samme ekspansjon som søyle 3/1 og 4/1. Dette er antydning med 1,5 o/oo tilleggsekspansjon som grønn søyle i figur 29.

Ifølge produktspesifikasjonen er den rissoverbyggende evnen til Cem-Elastic med forskrevet tykkelse begrenset til 0,2 – 0,4 mm utvidelse av rissvidden etter behandling. Da heften til betongen viste tilfredsstillende middelverdier i området 1,3 – 1,6 MPa ved prøving ved utførelsen, og fortsatt synes å være god, er det bemerkelsesverdig at det bare er søyle 7/1 som har fått riss. De øvrige behandlede vestlige søylene i akse 5, 6 og 8 hadde maksimale rissvidder mellom 2 og 3 mm allerede i 1999. Med en fortsatt utvikling i samme takt skulle en vente at flere av søylene ville få rissviddeøkning som overskrider overflatebehandlingsens rissoverbyggende kapasitet på maksimalt 0,4 mm. At det ikke er observert flere riss kan tyde på at ekspansjonen i søyler tildekket med Cem-Elastic er avtagende og kanskje er i ferd med å stoppe opp.

### 3.4 Fuktforhold

Alle feltmålinger av enkeltriss er kombinert med målinger av relativ fuktighet med kalibrerte ramintre pinner lagt i kammer i avstand 5 og 25 cm fra betongoverflaten. Resultatene er dokumentert i detalj i Rapport fra NBTL Ref. [7].

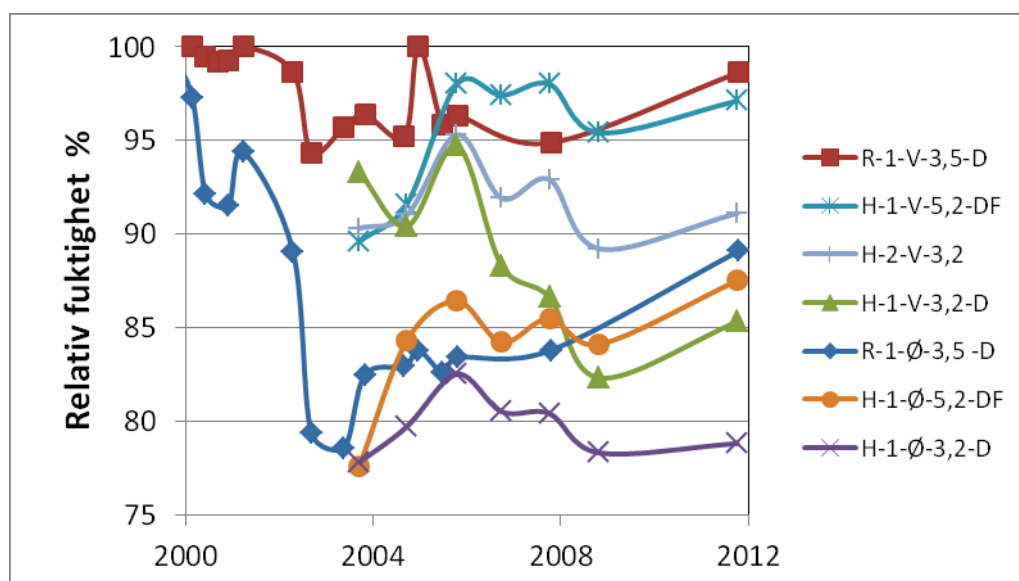


Fig 30 Fuktmålinger med ramintre pinner (R) og Humi-Guard (H) i dybde ca 5 cm fra overflaten. Humi-Guard-målingene er foretatt av SINTEF.



Figur 30 viser en sammenstilling av relativ fuktighet i betongen målt med raminpinner (R) (NBTL) og Humi-Guard (H) (SINTEF) målt ca 5 cm fra overflaten på vest og østsiden av søyle nr1 på land ved sydenden (akse 2) i omtrent samme høyde fra bakken, henholdsvis 3,5 og 3,2 m. Diagrammet er supplert med Humi-Guard målinger på vestsiden av søyle nr. 2 i samme høyde og på vest og østsiden av søyle nr.1 under fiberlag (F) i høyde 5,2 m. Søyle nr.1 er behandlet med Dynasytan (D) i år 2000, mens søyle nr 2 er ubehandlet. Det bemerkes at alle målinger er foretatt om høsten i de aktuelle år, men tidspunktet for måling med de to metodene kan avvike med inntil 1 måned.

Målingene viser god samling i 2006 idet alle målinger på vestsiden viser verdier omkring 95 % RF, mens målingene på østsiden av søylen er i nærheten av 85 %. Etter dette tidspunkt viser raminpinnemålingene (tilfeldigvis?) en parallell utvikling (konstant eller noe stigende) med H-målingene under fiberlaget i nivået over, mens H-målingene nær den eksponerte overflaten på samme nivå som R-målingene viser en fallende tendens. Årsaken til dette avviket er ikke kjent. Humi-Guard målingene er utført med nye følere hvert år. Spesielt for målepunkt H-1-V-3,2-D er også hylse og forsegling skiftet en gang uten at det ga spesielle utslag.

Raminpinnemålingene har generelt gitt meget høye fuktighetsverdier. Ved siste måling i november 2011 var RF-verdiene i det indre av søylene (25 cm fra overflaten) i gjennomsnitt for 24 målepunkter hele 97 %. I 5 cm avstand fra overflaten var tilsvarende gjennomsnitt 98 % på vestsiden og 91 % på østsiden. Det er en svak tendens til at fuktigheten nær overflaten er litt lavere for søyler med silanbehandling (ca 11 år etter) med henholdsvis 96 % og 89 % på vest og østsiden. Fuktigheten synes å være spesielt høy nær overflaten på søyler som kun er behandlet med Cem-Elastic. Gjennomsnitt for 5 punkter på hver side viser 100 % RF på vestsidene og 93 % på østsidene.

### 3.5 Forventet videre rissutvikling

Vanligvis antas at betong med alkalireaktivt tilslag vil kunne ekspandere når den relative fuktigheten i betongen er høyere enn ca. 80 %. Basert på målinger med raminpinner er fuktigheten i det indre av søylene (97 %) mer enn tilstrekkelig til at ekspansjon kan fortsette. Dette gjelder også ytre deler på østsiden av søylene med gjennomsnittlig 91 % RF og bare enkelte resultater ned mot 80 %.

Utviklingen hittil viser betydelig større rissvidder på vestsiden enn på østsiden av søylene. Måling av rissvidder ved søylefoten av vestlig søylerad i 1999 viser at mer enn  $\frac{3}{4}$  av rissviddesummen finnes på vestsiden. Det vil si at det er mer enn 3 ganger så stor rissviddesum på vestsiden som på østsiden. For de vestlige søylene med størst rissutvikling med gjennomsnittlig risstøyning ca. 4 o/oo vil rissviddesummen på vestsiden tilsvare mer enn 6 o/oo av halve omkretsen. Det er også en tendens til at det er flere riss på vestsiden, men forskjellen i antall riss er ikke så stor. Det er hovedsakelig utvidelsen av rissene på vestsiden som fører til den store forskjellen i rissviddesum.

Mekanismen som fører til denne store forskjellen i forekomsten av grove overflateriss er ikke godt forklart. I utgangspunktet er det rimelig å tro at mindre fuktighet på østsiden gir mindre ekspansjon av ytre lag her. Ekspansjon av søylens indre burde i så fall føre til tidlig rissdannelse på østsiden. Dette kan jo ha vært tilfelle, men den generelle antagelse at store riss i overflaten skyldes redusert ekspansjon i ytre deler synes å være motbeviset.

Høyere fuktighet på vestsiden skyldes opplagt hyppigere nedfukning på grunn av slagregn ved lokalt fremherskende vestavind. Størst slagregnpåvirkning fås på nedre deler av de vestlige søylene, mest på de lengste søylene (søylene i elva) og kanskje mest på søyler midt i elveløpet

med mulig sterkere vind. En hypotese at direkte vanntilførsel i riss ved slagregn medvirker til at rissene åpner seg synes å være i overensstemmelse med den fordeling av risstøyning ved søylefjøttene som er vist i figur 29. Detaljmåling av riss ved toppen av søylene, hvor de som oftest er beskyttet mot slagregn, er ikke gjennomført. Generell avstandsbedømmelse og erfaring fra feltforsøket viser imidlertid klart at rissummen i søylene avtar oppover i samsvar med avtagende slagregnpåvirkning. Det synes derfor rimelig å tro at beskyttelse av de rissede søylene mot inntrengning av vann fra slagregn vil dempe videre rissåpning.

Deler av Elgeseter bru som i noen grad er beskyttet mot direkte inntrengning av regnvann, viser tegn på at ekspansjon på grunn av alkalireaksjoner kan være i ferd med å stoppe opp:

- Måling av fuge mot landkar 2012 viser tilnærmet null forlengelse av brobanen siden 2004.
- Måling av enkeltriss på søyler akse 9 og feltforsøk på søyle akse 2 nr. 1 med silan-behandling og/eller Cem-Elastic viser ingen utvikling av rissviddene siden 2003. Dette skjer selv om målt relativ fuktighet i betongen fortsatt er høy.
- Søyler i akse 5 – 8 behandlet med Cem-Elastic i 2003/ uten riss i 2011 indikerer at rissutviklingen under overflatebehandlingen er liten. Dette motsies av observert riss i søyle 7/1, som dog var den vestlige søyle hvor rissene var minst utviklet før behandlingen ble utført.

Eksponerte søyler i akse 2 -4 synes å ha en fortsatt utvidelse av vertikale riss:

- Måling av rissvidder ved søylefot i 1999 og 2011 viser en gjennomsnittlig økning av rissviddene tilsvarende ca. 0,12 o/oo per år i de vestlige søylene i akse 3 og 4 og omtrent halvparten så mye for de øvrige søylene i akse 2 -4.
- Årlige målinger på søyle akse 2 nr. 2 i feltforsøket viste gjennomsnittlig økning på ca. 0,05 o/oo per år i 5 år siden 2003, men med avtagende tendens i de siste 3 år av forsøksperioden.

Sannsynlig utvikling:

Det antas mest sannsynlig at vidden av vertikale riss i eksponerte søyler vil fortsette å øke, kanskje med en avtagende hastighet i årene framover. Sannsynligvis vil rissutvikling i overflatebehandlede søyler og forlengelsen av brubanen være liten, men da fuktigheten i betongen er høy og man ikke vet om utluting eller forbruk av alkalier ved reksjonsprosessen har ført til redusert alkalitet, kan en ikke se bort fra at flere av søylene med Cem-Elastic vil risse opp og at brubanen igjen vil vise tendens til forlengelse.

## 4 Virkning av fiberomvikling

### 4.1 Motvirkning av ekspansjon

Da den målte ekspansjon av søylene i forsøksfeltet er svært begrenset, har karbonfiber-kompositten ikke blitt satt på noen alvorlig prøve. Inspeksjon av prøvefeltet etter 8 års eksponering gir inntrykk av at feltet er upåvirket av vær og vind, bortsett fra at overflatebehandlingen med Elastocolor stedvis er noe oppsprukket (kom tidlig i perioden) og en del tagging. Fiberkompositten synes fortsatt å ha god indre sammenheng, har ingen synlige riss og har sannsynligvis fortsatt god heft til betongen.

Det var i utgangspunktet ikke ventet at fiberkompositten skulle ha noen signifikant innvirkning på den generelle alkaliekspansjonen i søylen.

Epoksy/karbonfiber kompositten med tre lag Sika Wrap 230, som benyttet i felt 1.3 og 2.1 (antatt 3 lag) har samlet fibertykkelse  $t = 3 \times 0,13 = 0,39$  mm og E-modul 230 GPa.

Fiberlagets aksialstivhet:	$E t = 230 \cdot 0,39 = 90$ GPa mm/mm
Strekraften i fiberlaget ved en tøyning $\varepsilon$ (o/oo):	$F = 90 \cdot \varepsilon$ (N per mm bredde).
Eksempel:	
Kraft i fiberlaget ved 2 o/oo ekspansjon	$F_2 = 90 \cdot 2 = 180$ N/mm
Radiell trykkspenning i en søyle med diameter 800 mm:	$\sigma_c = 180 / (800/2) = 0,45$ MPa.

Sammenholdt med en foreslått forenklet sammenheng mellom påført trykkspenning og begrensning av en fri alkaliekspansjon som vist i figur 31, framgår det at en konstant spenning på 0,45 MPa ville hatt svært begrenset virkning.

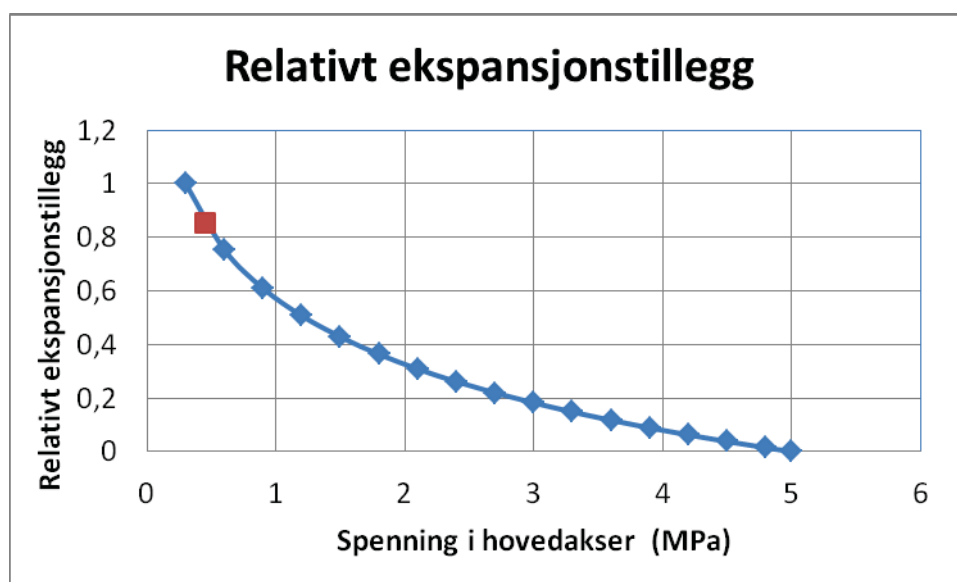


Fig 31 Reduksjon av fri alkaliekspansjon ved motvirkende trykkspenning.

Tas det hensyn til at trykkspenningen i tilfelle ville blitt påført gradvis proporsjonalt med ekspansjonen, ville virkningen av karbonfiberlag med tykkelse ca. 1 o/oo av søyleradius sannsynligvis vært neglisjerbar.

I det aktuelle feltforsøket er den største gjennomsnittlige ekspansjonen (i felt 2.1) målt til 0,45 o/oo etter at fiberkompositten ble montert. Den radielle trykkspenningen i søyletverrsnittet er derfor sannsynligvis ikke mer enn 0,1 MPa.

## 4.2 Påvirkning av risddannelse

Når et laminat av en fiberkompositt limes til overflaten av en betongstrekkzone med riss som åpner seg på grunn av strekkbelastning eller alkaliekspansjon, vil det oppstå heftspenninger mellom betongen og laminatet. Forutsatt at laminatet har god indre sammenheng og god heft til betongen vil det normalt utvikle seg et lokalt delamineringsriss parallelt med og like under betongoverflaten. Risset har en (begrenset) evne til å overføre skjærspenninger. I litteraturen er

det foreslått forskjellige relasjoner mellom skjærspenning og forskyvning (bond-slip law) i slike delamineringsriss. Fig 32 viser tre foreslåtte relasjoner: konstant, lineært fallende og bi-lineær.

Felles for forslagene er at det finnes en kritisk forskyvning ( $s_{max}$ ) hvor skjærspenningen blir tilnærmet lik null. Ved forskyvning utover denne grensen finnes bare en lav friksjonsmotstand som ofte neglisjeres. Forutsatt at kritisk forskyvning ( $s_{max}$ ) og midlere skjærspenning ( $\tau_{bm}$ ) er like, spiller det ikke så stor rolle hvilken relasjon skjær/forskyvning som antas. Dette er illustrert i figur 33, som viser numerisk integrert spenningsoppbygging i et laminat i en forankringsssone med en passiv (spenningsløs) ende ved forskjellige skjær/forskyvnings-relasjoner. Den maksimale spenning og tilsvarende kraft ( $F_{max}$ ) som kan innføres i laminatet, blir lik i alle tre tilfeller, men den aktive forankringslengden ( $L_e$ ) som trengs for å oppnå maksimal forankringskraft, er forskjellig.

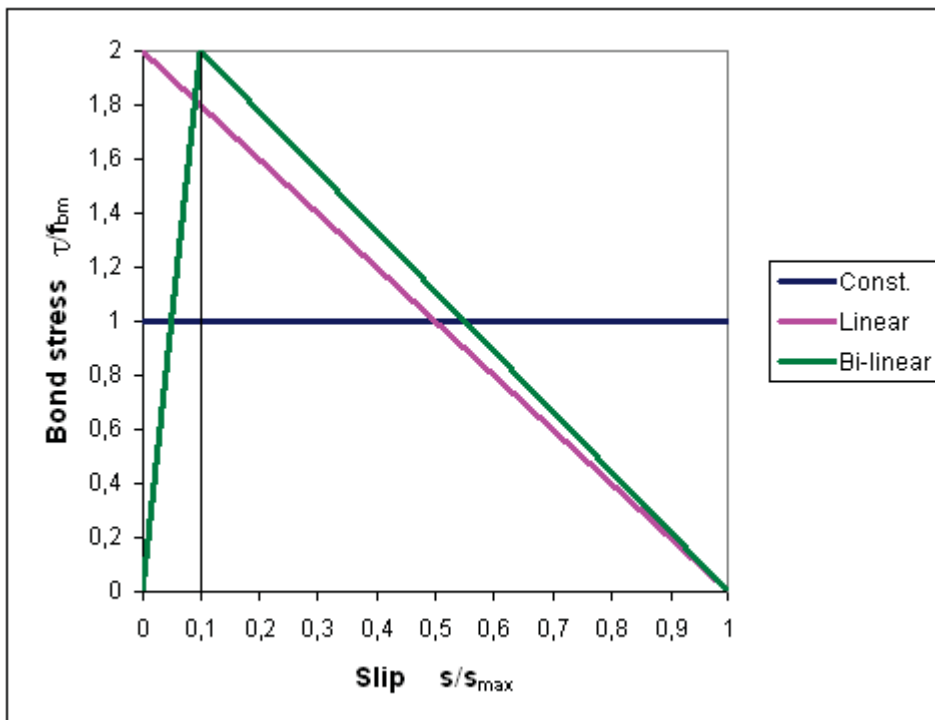


Fig 32 Relasjon mellom forskyvning og skjærspenning i delamineringsriss.

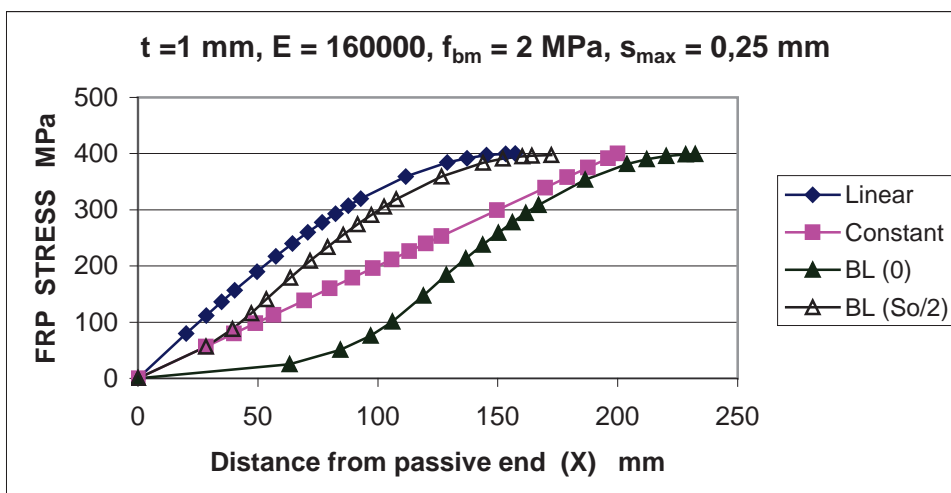


Fig 33 Numerisk integrert spenningsoppbygging i laminat i forankringsssone med passiv ende.

Eksemplet i figur 33, med de parametere som er angitt i figuren, gir en effektiv forankringslengde  $L_e = 200$  mm ved konstant skjærspenning. Den lineære relasjonen med maksimal skjærmotstand ved null forskyvning gir kortere forankringslengde, mens den mer realistiske bi-lineære relasjonen også kan gi noe kortere forankringslengde, men bare dersom det tillates en viss glidning ved passiv ende. (I det beregnede tilfelle er denne forskyvningen antatt lik  $s_0/2$  hvor  $s_0$  er forskyvningen ved maks skjærspenning).

Da en antagelse om en konstant skjærspenning (heftspenning) i forankringssonen gir enklere analyse og rimelig resultat, velges dette som utgangspunkt for videre vurdering. Beregningen vil ligne vanlig beregning av forankring av armering, bortsett fra at det for eksternt limt laminat må tas hensyn til en strengere grenseverdi for effektiv forankringslengde. Forutsatt at tøyningen i betongen (mellom rissene) neglisjeres og at heftspenningen ( $f_{bm}$ ) er konstant gjelder følgende enkle sammenheng i en forankringsone med en passiv ende:

$$\text{Spenning i laminatet i avstand } x \text{ fra passiv ende: } \sigma_x = \int_0^x \frac{f_{bm}}{t_f} dx = x f_{bm} / t_f$$

$$\text{Skjærforskyvning i avstand } x \quad s_x = \int_0^x \frac{\sigma_x}{E_f} dx = \int_0^x \frac{x \cdot f_{bm}}{t_f E_f} dx = \frac{x^2 \cdot f_{bm}}{2 \cdot t_f \cdot E_f}$$

$$\text{Forskyvning i avstand } L_e \quad s_{\max} = \frac{L_e^2 \cdot f_{bm}}{2 \cdot t_f \cdot E_f}$$

$$\text{Effektiv forankringslengde: } L_e = \sqrt{\frac{2 \cdot s_{\max} \cdot E_f \cdot t_f}{f_{bm}}}$$

En vanlig antagelse er å sette kritisk forskyvning  $s_{\max} = 0,25$  mm. Den effektive forankringslengden avhenger av laminatets stivhet  $E_f t_f$  blir da som vist i figur 34.

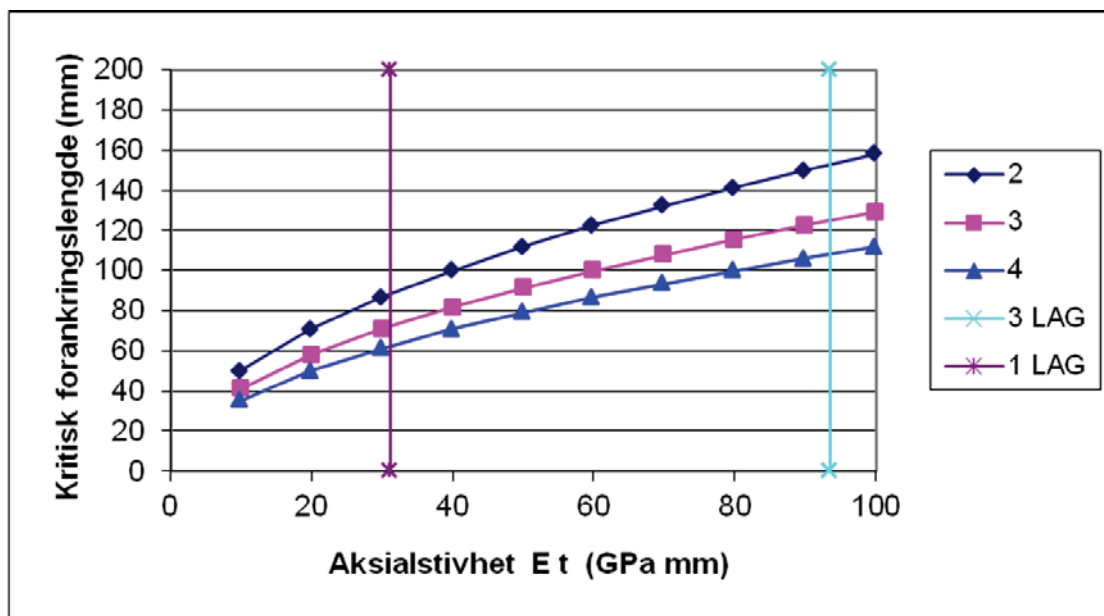


Fig 34 Kritisk forankringslengde for laminat avhengig av stivhet (E t) og heftfasthet (2,3,4) MPa.

Forankringslengden for 1 og 3 lag Sika Wrap 230 er vist i figuren. Antas  $f_b = 3$  MPa blir forankringslengden 70 mm for ett lag (tykkelse 0,13 mm) og 122 mm for 3 lag (0,39 mm).

Denne forankringslengden utvikles etter teorien ved 0,25 mm forskyvning, dvs. ved en økning av rissvidden med 0,5 mm for et laminat i en opprisset strekksone.

Tøyningen i i laminatet lokalt ved risset i denne situasjonen er gitt av

$$\varepsilon_f = \sigma_f / E_f = f_b L_e / (t_f E_f) = \sqrt{\frac{2 \cdot s_{\max} \cdot f_b}{E_f \cdot t_f}} \quad (\text{enheter mm og N/mm}^2)$$

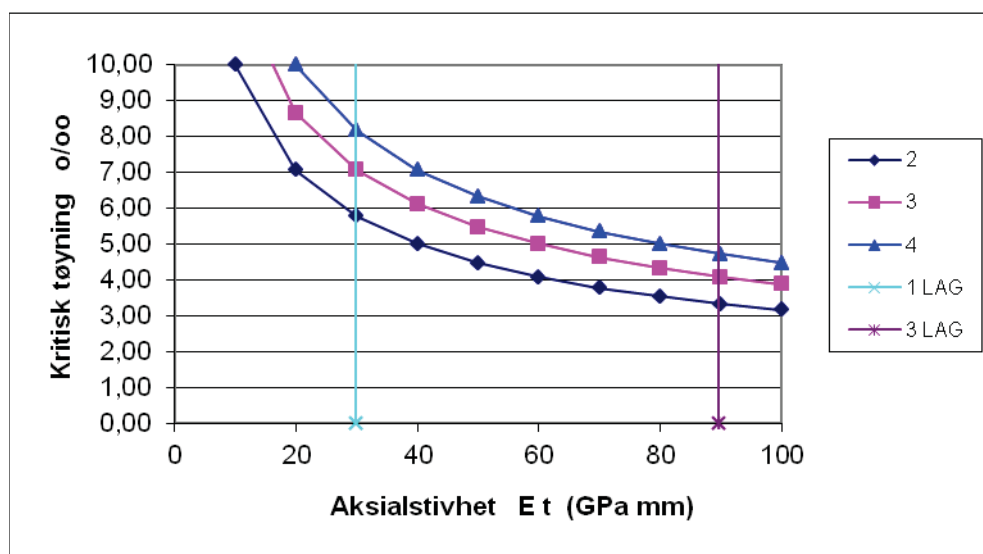


Fig 35 Lokal tøyning i laminat ved riss med 0,5 mm viddeøkning avhengig av stivhet ( $E \cdot t$ ) og heftfasthet (2, 3 og 4 MPa).

Figuren viser at et laminat med ett lag Sika Wrap karbonfiber vil få en høy lokal tøyning på vel 8 o/oo ved heftfasthet  $f_b = 4$  MPa. Tilsvarende spenning er ca. 1870 MPa. Angitt bruddtøyning for det aktuelle fibermateriale er ca. 16 o/oo, men erfaring har vist at brudd kan oppstå under uheldig omstendigheter i praksis ved beregnet tøyning mindre enn halvparten av den angitte. Ved spesielt god heftfasthet er det derfor en viss risiko for at det kan oppstå brudd i karbonfibrene allerede ved en rissutvidelse av størrelsesorden 0,5 mm. Rehabilitering med kun ett lag Sika Wrap (0,13 mm) anbefales derfor ikke.

Beregningsmessig tøyningfordeling i karbonfiberlaminat montert i strekksone med økende rissvidder illustreres i figur 36 for et eksempel med 3 lag Sika Wrap med heftfasthet 3 MPa og antatt avstand 400 mm mellom to like store riss med initial rissvidde  $w_0$ .

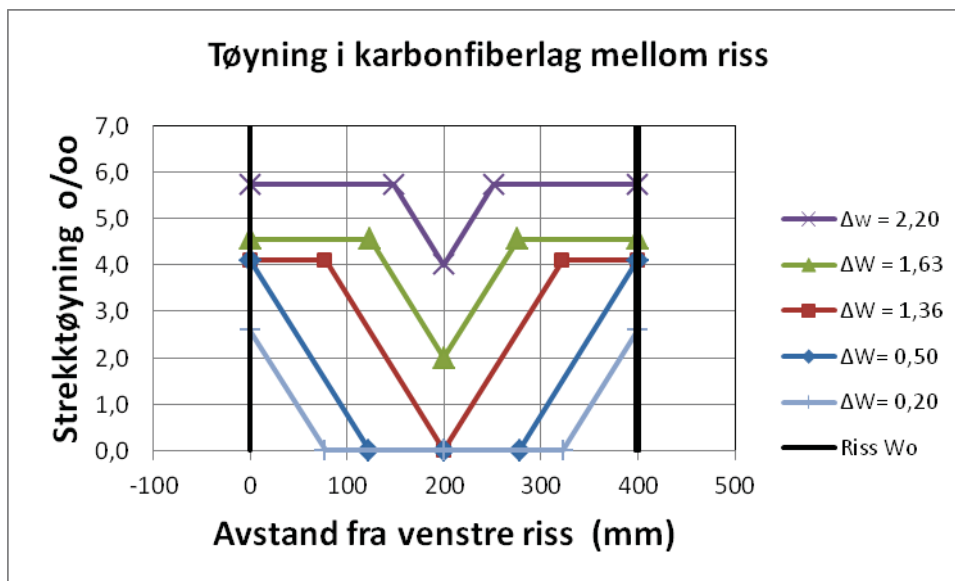


Fig 36 Tøyningsfordeling i fiberkompositt mellom riss med varierende rissviddeøkning.

Figuren viser at det allerede ved 0,2 mm rissåpning (dvs. 0,1 mm forskyvning mellom laminat og betongen ved risskanten) vil laminatet aktiviseres med en tøyning ca 2,6 o/oo ved risset (spenning ca  $600 \text{ N/mm}^2$ ) og en forankringslengde lik ca 75 mm. Innenfor forankringslengden overføres en skjærspenning omtrent lik betongens strekkfasthet. Ved enden av forankringslengden er det innført en strekkraft som kan gi en strekkspenning i betongen lik strekkfastheten i en dybde lik forankringslengden.

Kriteriet for dannelse av nytt riss er uavklart. Det kommer blant annet an på hvor store strekkspenninger som eksisterer i betongen mellom hovedrissene på grunn av den generelle underliggende ekspansjon og eventuelt bidrag fra forankring av vanlig armering. Det synes rimelig å relatere risskriteriet til overskridelse av strekkfastheten i et "effektivt betongareal", prinsipielt på samme måte som ved beregning av rissavstand for betong med vanlig armering.

Et forslag kan være å sette dybden av det effektive betongarealet lik betongoverdekningen i armert betong, av størrelsesorden 50 mm. For betong med riss på grunn av alkalireaksjoner kan dybden kanskje mer realistisk settes lik vanlige observerte dybder for grove alkaliriss, for eksempel 70 – 100 mm.

Dette betyr at det er stor sjanse for at fiberlaget i eksemplet i figur 36 vil initiere nye riss allerede før den maksimale forankringslengden lik 122 mm er etablert ved 0,5 mm rissutvidelse.

Dersom nye riss (mot formodning) ikke oppstår, vil ytterligere rissutvidelse føre til at maksimalgrensen for forskyvning ( $s_{\max} = 0,25 \text{ mm}$ ) ved effektiv heftspenning blir overskredet nær risset. Dette fører til at forbindelsen delvis "rakner" og de effektive forankringslengdene forskyves gradvis bort fra rissene. Dette fortsetter inntil de passive endene av forankringslengdene (med motsatt rettet skjærspenning) møtes i midtpunktet mellom de to antatt like store hovedrissene, nå med tilleggsrissvidde 1,36 mm.

Ved ytterligere rissutvidelse vil laminatet få strekk-tøyning også i midtsnittet og formidle en gjennomgående strekkraft mellom rissene. Med økende tøyninger vil forankringslengden avta. I den beregnede slutttilstand med 2,2 mm tilleggsrissvidder har det gjenværende forankringsområdet liten betydning og tøyningen i laminatet blir tilnærmet konstant lik gjennomsnittstøyningen  $2,2/400 = 5,5 \text{ o/oo}$ .

Den beregnede oppførsel er tilnærmet uavhengig av hvor store rissene var før montering. Ved 0,5 mm rissutvidelse vil kraften i det aktuelle 3-lag laminatet uansett bli lik

$$L_e f_{bm} = \sqrt{\frac{2 \cdot s_{\max} \cdot E_f \cdot t_f}{f_{bm}}} \cdot f_{bm} = 122 \cdot 3 = 366 \text{ N/mm} = 366 \text{ kN/m}$$

Dette er en betydelig lokal kraft (36 tonn per meter riss). Selv om kraften i fiberlaget ikke er tilstrekkelig til å hindre generell alkalieksponering, er det nok mulig at den lokale strekkraften kan bidra til å redusere videre åpning av grove riss som tilsynelatende får en ekstra rissåpning når de utsettes for regn og frost.

Beregningene ovenfor antyder at det aktuelle 3-lag laminatet har et potensiale for både å redusere videre åpning av grove riss ved å initiere flere riss mellom de eksisterende og ved direkte å motvirke eventuell "spriking" av rissene. På grunn av svært begrenset ekspansjon av søylene gir ikke feltforsøket grunnlag for en klar verifikasjon av disse forholdene. Detaljstudiet av riss og tøyingsutvikling i forsøksfeltet gir likevel indikasjoner på at risskontroll som beskrevet kan være tilfelle. Dette bygger dels på at det faktisk oppsto noen ekstra småriss i felt med fiber, men ikke i felt uten fiber, og dels at det var god overensstemmelse mellom "risstøyning" og ekstensometermålinger i felt med fiber, mens det i felt uten fiber ble observert større utvikling av riss enn den underliggende ekspansjon målt med ekstensometer skulle tilsi.

### 4.3 Forsterkningseffekt

Utvendig limt karbonfiberlaminat med fibre i ringretningen har i utgangspunktet en klar forsterkningseffekt på normalkraftkapasiteten av sirkulære søyler.

Forsterkningen bygger på:

- 1) Bruddspenningen ved trykkpåkjenning i en primær akseretning øker dersom betongen samtidig utsettes for trykkspenning i de to andre hovedaksene.
- 2) Betongen får en stor tverrutvidelse (mer enn 50 % av aksialtøyningen) før brudd.

Eurocode 2 angir en aksial trykkfasthet avhengig av tverrspanningen  $\sigma_2$  lik:

$$\begin{aligned} f_{ck,c} &= f_{ck} + 5 \sigma_2 && \text{for } \sigma_2 < 0,05 f_{ck} \\ f_{ck,c} &= 1,125 f_{ck} + 2,5 \sigma_2 && \text{for } \sigma_2 \geq 0,05 f_{ck} \end{aligned}$$

Formelen bygger på forsøk med for eksempel aksielt belastede betongsylindere med vanntrykk mot den forseglete sylindrerflaten. Dette gir horisontalspenninger  $\sigma_2$  radielt og sirkulært i betongen lik vanntrykket. Forsøkene er normalt kjørt med konstant tverrspanning eller med et konstant forhold mellom aksialspenning og tverrspanning.

Kapasitetsøkningen etter formelen ovenfor synes å stemme godt også for søyler med passiv omsnøring av stål med vanlig flytegrensetøyning 2 -3 o/oo som aktiviseres av betongens tverrutvidelse og gir en konstant tverrspanning når flytegrensen overskrides.

I vanlige spiralarmerte søyler er det bare kjernetverrsnittet innenfor spiralen som forsterkes ved omsnøring (confinement). Omsnøring ved utvendig montert karbonfiberlaminat er derfor i



utgangspunktet mer effektivt idet hele tverrsnittet omsnøres og en unngår kapasitetsreduksjon ved tidlig avskalling av overdekningen.

Da vanlig anvendte (høyfast) karbonfiber er elastiske til brudd ved mer enn 15 o/oo tøyning, blir spørsmålet hvor stor andel av bruddtøyningen og dermed bruddfastheten av karbonfiberen som kan utnyttes som effektiv omsnøringskraft.

Eurocode 2 postulerer en meget stor økning av bruddtøyningen aksielt selv ved moderate tverrspanninger, men sier lite om tverrutvidelsen. Forsøk med uarmerte søyler med karbonfiberlaminat i litteraturen mangler direkte dokumentasjon av tverrutvidelsen ved brudd, men basert på en vurdering av hvor stor forsterkningseffekt som er oppnådd er det foreslått å regne med ca 50 % av fibermaterialets bruddspanning som effektiv.

Belastningsforsøk med karbonfiberforsterkning av søyler med alkalireaksjoner finnes ikke. Som for Elgeseter bru, er typiske skader på grunn av alkaliexpansjon i aksialbelastede søyler i form av relativt grove åpne langsgående (vertikale) radielle riss i overdekningen i tillegg til en generell indre mikrorissing med helt eller delvis fylte (hovedsakelig vertikale) riss. Rissene er forventet å gi en moderat reduksjon av aksial bruddstyrke.

Grove riss kan trolig også redusere armeringens heftkapasitet og dermed redusere søylens kapasitet i områder hvor armeringen forankres eller skjøtes ved omfaring.

For å undersøke forsterkningseffekten av karbonfibervev-omvikling av armerte søyler med omfaringsskjøtt armering ble det i 2001 gjennomført forøk ved SINTEF med 4 søyler Ø328 mm med 6Ø25 mm skjøtt armering med kort omfaringslengde (250 mm).ref. [4]

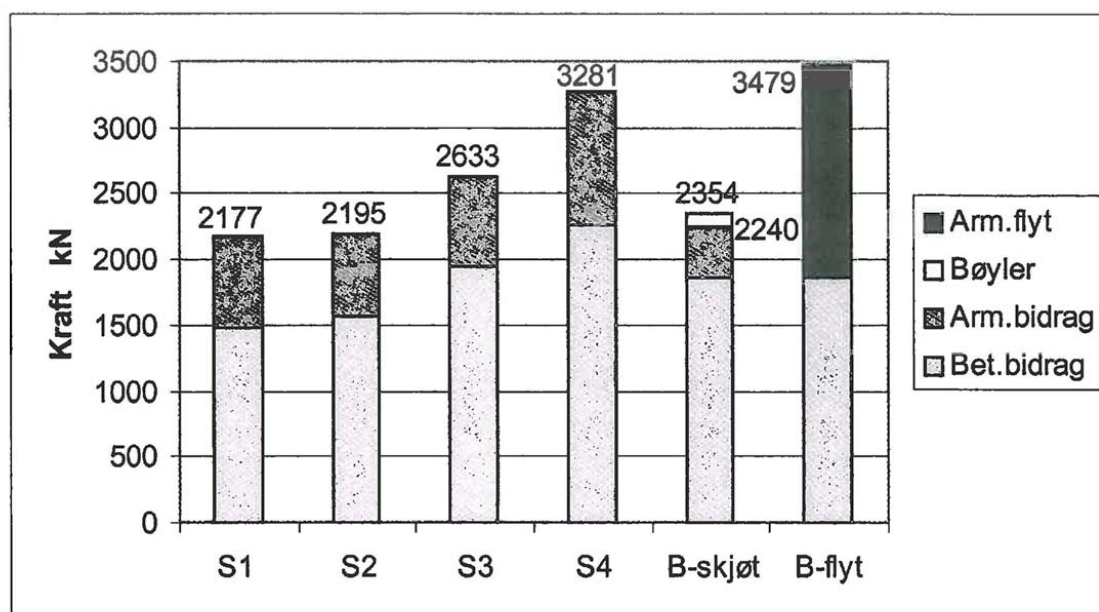


Fig 37 Kapasitet av sentrisk belastede søyler. Ref.[4]

S1: uten forsterkning, S2: Noen bøyler i skjøtområdet, S3: 1 lag Sika Wrap, S4: 2 lag B-skjøtt: Beregnet kapasitet med skjøtt uten forsterkning, B-flyt: Beregnet uten skjøtt.

Bedømt ut fra målte kapasiteter og tøyningsmålere på armeringen ved endene av omfaringsskjøten ga 2 lag Sika Wrap (med forhold fibertykkelse/radius = 1,5 o/oo) ca. 50 % forsterkning både av betongens og armeringens bidrag til kapasiteten av søylen. Bruddet i de forsterkede søylene kom plutselig med en "sprengning" av fiberomviklingen. Tøyningen i fiberlaget ved brudd var ikke

målt. I tabell 9 vises en forenklet analyse av hvor stor effektiv tverrspanning i betongen og dermed effektiv tøyning fiberlaget kan ha vært, forutsatt at forsterkningseffekten av  $\sigma_2$  spenning er omtrent som angitt i Eurocode 2 (Antatt  $f_{cc} = 1,1 f_c + 3 \sigma_2$  for  $\sigma_2 > 0,05 f_c$ ).

Tabell 9 Analyse av søyleforsøk med karbonfiberforsterkning.

Fibervev		Ref [8]		Ref [4]	
		HEX-103C	2/3HEX-103C	HEX-230C	2HEX-230C
vekt	g/m <sup>2</sup>	610		230	460
densitet	g/cm <sup>3</sup>	1,81		1,85	1,85
tykkelse $t_f$	mm	0,337	0,225	0,124	0,249
Emodul $E_f$	N/mm <sup>2</sup>	230000	230000	230000	230000
Bruddsp. $f_{fu}$	N/mm <sup>2</sup>	3800	3800	3800	3800
Bruddtøyn. $\varepsilon_{fu}$	o/oo	16,5	16,5	16,5	16,5
Stivhet $E_f * t_f$	N/mm	77514	51676	28595	57189
Bruddkraft $F_u$	N/mm	1281	854	472	945
<b>Søyle</b>					
Diam søyle D	mm	152	152	328	328
Tverrsnitt	mm <sup>2</sup>	18146	18146	84496	84496
Armering		6Ø10	6Ø10	6Ø25	6Ø25
$t_f/R$	o/oo	4,5	3,0	0,75	1,5
Max $\sigma_2$	N/mm <sup>2</sup>	16,85	11,23	2,88	5,76
<b>Test resultat</b>					
Ref kapasitet	kN	530	530	2180	2180
Test resultat	kN	1024	850	2633	3281
Ref spenning	N/mm <sup>2</sup>	29,21	29,21	25,80	25,80
Bruddspenning	N/mm <sup>2</sup>	56,43	46,84	31,16	38,83
Forsterkning	N/mm <sup>2</sup>	27,22	17,63	5,36	13,03
Økning	%	93	60	21	50
<b>Beregnet</b>					
$\sigma_2$	N/mm <sup>2</sup>	8,10	4,90	1,07	3,48
$\varepsilon_f$	o/oo	7,94	7,21	6,15	9,99
$\varepsilon_f / \varepsilon_{fu}$		0,48	0,44	0,37	0,60

I tabell 9 er også medtatt analyse av resultater av forsøk med karbonfiberforsterkede armerte små søyler med diameter 150 mm utført ved Ohio State University USA ref [8]. Søylen var forsterket dels med et heldekkende lag med en tykkere variant av Sika Wrap, dels med det samme laget lagt i striper som dekket 2/3 av overflaten av søylen. Også i dette forsøket var kapasiteten influert av armeringens forankring. Referansekapasiteten er antatt lik den uforsterkede armerte søylens kapasitet.

Analysen i Tabell 9 indikerer at den effektive tøyning i fiberlaget ikke bør antas høyere enn ca 40-60 % av fibermaterialets teoretiske bruddtøyning, som her er antatt lik 16,5 o/oo.

#### 4.4 Mulig forsterkning av søylene i Elgeseter bru

I det følgende beregnes forsøksvis hvor stor økning av betongens dimensjonerende fasthet som kan ventes ved montering av 3 lag Sika Wrap 230 C med tykkelse ca.  $3 \cdot 0,13 = 0,39$  mm på Ø800 mm søyler med ekspansjonsriss.

Basert på forsøk med sentrisk belastede søyler uten alkalieksponasjon synes en effektiv tøyning i karbonfiberlaget ved brudd på 6 o/oo å være på sikker side. Det er dog rimelig å anta at eksistensen av til dels grove vertikale riss i søylene i noen grad vil forstyrre den gunstige triaksiale spenningstilstanden i betongen idet spenningen i ringretningen vil være null ved rissene. Fiberlaget vil dog effektivt hindre en mulig avskalling på grunn av alkaliriss parallelt overflaten.

Antas en effektiv tøyning på 5 o/oo i fiberlaget fås følgende tverrspanning:

$$\sigma_2 = \varepsilon_f E_f t_f / R = 5/1000 \cdot 230000 \cdot 0,39 / 400 = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristisk sylindrefasthet basert på utborete prøver 1998:  $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

Dimensjonerende fasthet NS-EN 1992-1-1:  $f_{cd} = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_2 / f_{ck} = 1,12 / 25 = 0,045, \quad f_{ck,c} = 25 + 5,0 \cdot 1,12 = 30,6 \text{ N/mm}^2$$

Dimensjonerende fasthetsøkning:  $0,85 (f_{ck,c} - f_{ck}) / \gamma_{mc} = 0,85 \cdot 5,6 / 1,5 = 3,2 \text{ N/mm}^2$

Montering av 3 lag Sika Wrap gir en økning av dimensjonerende fasthet med 23 %.

Den beregnede økning av dimensjonerende fasthet på  $3,2 \text{ N/mm}^2$  gjelder i utgangspunktet sentrisk belastede sirkulære søyler med fibertykkelse ca. 1 o/oo av radien.

I eksentrisk belastede søyler er det bare ytre deler av trykksonen som får stor tverrutvidelse. Effektiv omsnøring og fasthetsøkning av trykksonen forutsetter at fiberkompositten har god heft til betongen. Dersom fiberlaget limes utenpå Cem-Elastic vil forsterkningseffekten sannsynligvis bli redusert. Med intakt heftfasthet av størrelsesorden  $1,5 \text{ N/mm}^2$ , som målt ved utførelsen, antas det at en betydelig andel av forsterkningseffekten vil bli opprettholdt. Omvikling av søylen med fibervev, som overlappskjøtes rundt søylen, vil i alle fall motvirke en mulig tidlig avskalling på grunn av delamineringsriss i betongen selv om heftfastheten er lav.

Med brukbar heft vil fiberkompositten utvide M-N kapasitetsdiagrammet for søyletverrsnittet på samme måte som en økning av betongens dimensjonerende fasthet vil det. Det vil si hovedsakelig i området med høy relativ aksialkraft (over balansepunktet hvor tøyningen i strekkarmeringen er lik flytegrensen). Da omsnøring, i tillegg til å øke fastheten, også vil øke betongens bruddtøyning, vil kapasitetsbidraget fra fordelt trykkarmering også øke noe i området omkring balansepunktet.

Som vist ved forsøk, kan fiberomvikling også forsterke heftkapasiteten for kamstål. Da armeringen i søylene i Elgeseter bru består av glattstål, som gir mindre sprevirkning ved glidning, er det usikkert hvor stor effekt omsnøring av armeringens omfangssoner vil gi.

#### 4.5 Behov for forsterkning

Kapasiteten av søylene i Elgeseter bru beregnes i utgangspunktet med de samme materialfastheter og laster som angitt i rapporten "Tilstandskontroll, Statistiske beregninger" 2001, Ref. 9.

Dimensjonerende fasthet betong (C30 – NS3473):  $f_{cd} = 14 \text{ MPa}$   
 Dimensjonerende fasthet armering (St52 Glatt stål)  $f_{sd} = 320 \text{ MPa}$ .

Armeringen av søylene framgår omtrentlig av skisse i figur 38. Det framgår at søylene har en kraftig lengdearmering (18 Ø12) i de nedre 1,5 m (over overkant stålmantel). Antallet avtrappes i trinn med lengde 1,5 m til 12 og 8 stk. I midtpartiet er søylen lett armert med 8 Ø25 tilsvarende 0,8 % av betongtverrsnittet. (Vanlig minimumsarmering er 1,0 %). I øvre del er armeringen øket til 10Ø25 (yttersøyler) eller 12 Ø25 (innersøyler). Det er sannsynlig at 8Ø25 er ført kontinuerlig opp til forankring i bjelke uten skjøt i øvre del og at økningen til 10 eller 12 stenger skjer ved 1 eller 2 ekstra stenger på de mest påkjente sidene av søylene (nord og sydside). Forankringslengden for de ekstra stengene er antagelig 4,0 m.

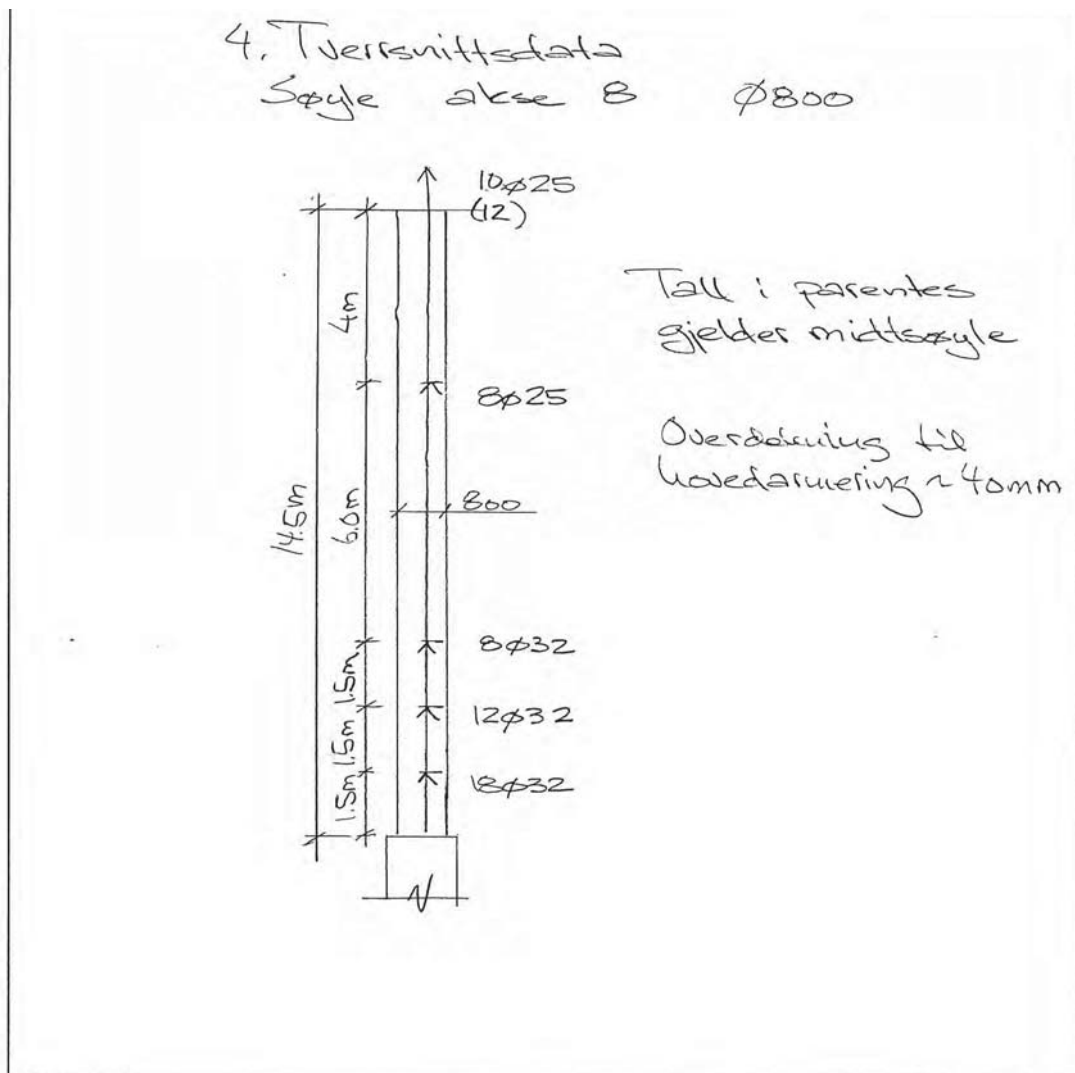


Fig 38 Armering i typiske søyler. Elgeseter bru.

Maksimal og minimal aksialkraft 4600 / 2367 kN gjelder for innersøyler (mest last).

Størstedelen av momentpåkjenningen for maksimalt påkjent søylerad (akse 8) skyldes innspenningsmomenter ved forskyvning av søyletopp når brubanen forlenges på grunn av temperaturøkning og alkaliekspansjon. Søylenes innspenningsgrad i bjelken i toppen og fundamentet ved bunnen er ifølge beregningen størst i toppen. Momentene på grunn av påført forskyvning er derfor størst i toppen (momentene i bunnen er ca 90 % av toppmomentet).

Momentene er beregnet for en situasjon hvor summen av forlengelse på grunn av 30 °C temperaturøkning og alkaliekspansjon har ført til at den opprinnelige fugen på 200 mm mellom bjelker og landkar (akse 10) har lukket seg helt. Dette er omtrent den situasjon som var tilfelle i 2003 da søylene i akse 6 -9 ble frigjort og forskjøvet tilbake til vertikal posisjon.

Søylene i akse 8 er på dette grunnlag beregnet for følgende forskyvninger og momenter:

Forskyvning pga. 30 °C temperaturøkning: 45 mm. Moment ved topp: 324 kNm  
 Forskyvning pga. alkaliekspansjon: 111 mm Moment ved topp: 266 kNm

Forskyvningen på grunn av alkaliekspansjon er størst, men da momentene for denne forskyvningen er beregnet med langtids E-modul lik  $E_{ck} / 3$  gir likevel temperaturforskyvningen størst bidrag til momentet.

Maksimalt moment inkl. trafikklaster, vind, formfeil og 2.orden moment: 962 / 784 kNm

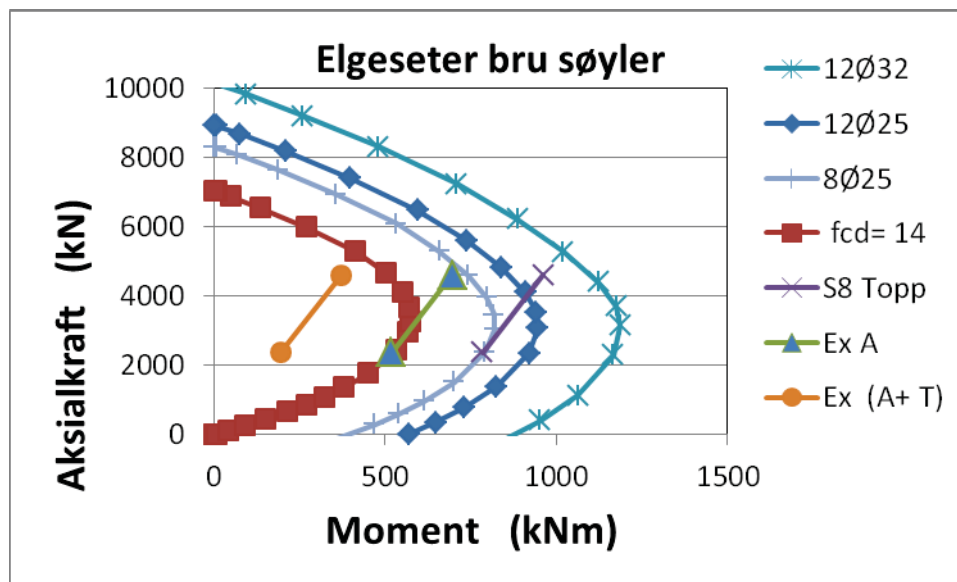


Fig 39 M/N kapasitetsdiagram og lastkombinasjoner for innersøyler akse 8.

Kapasitetsdiagrammet i figur 39 viser dimensjonerende kapasitet for Ø800 mm søyle for betongen alene ( $f_{cd} = 14$ ), og kombinert med aktuelle armeringsmengder, 8Ø25: midtparti, 12Ø25: topp innersøyler, 12Ø32: nær bunnen. Det framgår at maksimal påkjenning for søyler akse 8 (S8 Topp) ligger utenfor aktuelt kapasitetsdiagram (12Ø25) ved maksimal aksialkraft. Etter rehabilitering, hvor søylen ble avlastet for moment pga. alkaliekspansjon, ligger maksimal påkjenning (Ex A) godt innenfor kapasitetsdiagrammet.

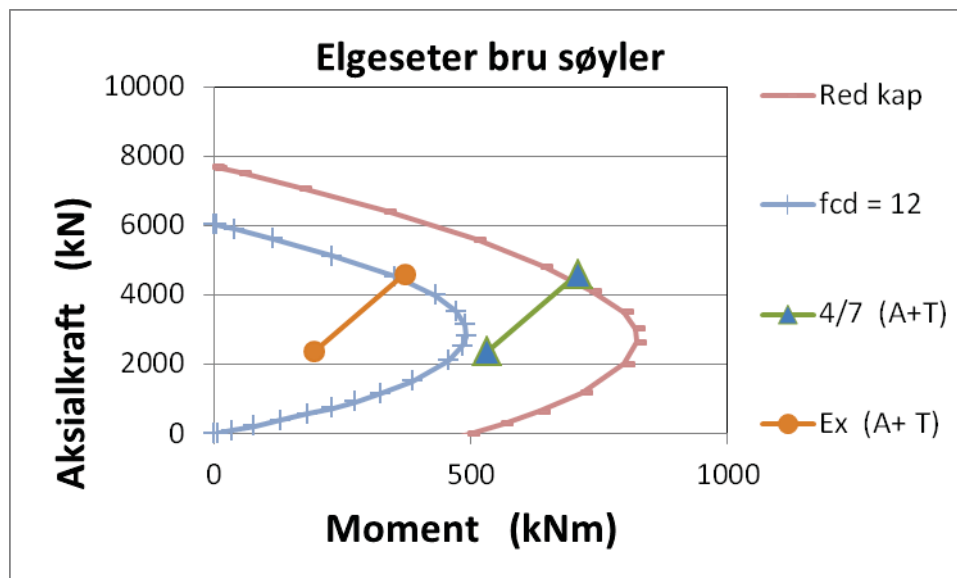


Fig 40 Redusert kapasitetsdiagram med aktuell lastkombinasjon for midtsøyler (akse 5).

Fig 40 viser sammenligning mellom påkjenning for de mest påkjente søylene som ikke er avlastet for alkaliforskyvning (akse 5) hvor momentene pga. temperatur og ekspansjon er ca 4/7 av opprinnelig beregnet påkjenning i akse 8, og et noe redusert kapasitetsdiagram for betongsøyler med opprissing på grunn av alkaliereaksjoner armert med 12 Ø25 mm armeringsstenger.

Det er regnet med en anslagsvis reduksjon av dimensjonerende trykkfasthet fra 14 til 12 MPa og en noe øket sikkerhetsfaktor for stålspenningen tilsvarende en reduksjon fra 320 til 280 MPa. Det framgår at maksimal påkjenning er tilnærmet lik dimensjonerende kapasitet under disse forutsetninger.

#### 4.6 Mulige tiltak

Beregninger indikerer at rehabilitering med forsterkning av søylene i Elgeseter bru ikke er strengt nødvendig i dagens situasjon. Normale sikkerhetsfaktorer synes tilfredsstillende selv om det regnes med en viss reduksjon av kapasiteten på grunn av opprissing. En mulig strategi er derfor: Ingen tiltak, men fortsatt overvåking slik at det er mulig å gripe inn dersom brua igjen viser tegn til forlengelse eller mer direkte tegn på overbelastning av søylene ved topp eller bunn oppdages.

Alternativt gjennomføres allerede nå en full rehabilitering av søylene med sikte på å gjenopprette full kapasitet, øke søylenes evne til å tåle mulige økede påførte forskyvninger fra framtidig brubaneekspansjon, kontrollere utvidelsen av vertikale riss og beskytte søylene mot uheldig påvirkning av slagregn. Dette kan oppnås ved påføring av epoksy/ karbonfiber kompositt med fibertykkelse ca 1 o/oo av søyleradius (tilsvarende 3 lag av type som anvendt i feltforsøket) i de mest påkjente øvre og nedre ¼-del av søylehøyden, og 1 – 2 lag i midtre halvdel. Det er naturlig å inkludere utbedring med rensing og reparasjonsmørtel av observerte felt på noen søyler med avskalling på grunn av korrosjon på armering med liten overdekning. Det antas at det bare er nødvendig å fjerne/reparere Cem-Elastic i lokale områder med tydelige tegn til dårlig heft.

## 5 Referanser

1. SINTEF-Rapport STF22-A97873 "Fukt og dilatasjonsmålinger: Dokumentasjon av metoder og langtidsmålinger i en betongbru og en betongdam". 1998-07-05 (Elgeseter bru).
2. SINTEF-notat 1998-07-07. "Forsterkning/forsegling av alkalireaksjonsskadete betongkonstruksjoner med fiberarmerte polymerbånd".
3. SINTEF-rapport STF22 A99745 "Forsterkning av betongkonstruksjoner med fiberbånd. Litteraturstudium." 1999-06-02.
4. SINTEF-rapport STF22-A00718 "Forsterkning av betongsøyler med karbonfibervev", Febr 2001.
5. Børge Wigum; Erik Thorenfeldt: "Sheets of Carbon Fibre Polymers (CFRP) as a Repair Material in order to Strengthen and Repair Concrete damaged by Alkali Aggregate Reactions" 12<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. October 15-19, 2004, Beijing, China.
6. NBTL-rapport 2002-11-29: "Elgeseter bru: Fukt og dilatasjonsmålinger til 5.sept 2002".
7. NBTL-rapport 11257 2011-05-12 "Elgeseter bru: Fukt og dilatasjonsmålinger til 24. okt. 2011".
8. H. Sezen; E Miller: "Experimental Evaluation of Axial Behavior of Strengthened Circular Reinforced-Concrete Columns" Journal of Bridge Engineering, ASCE, March/April 2011.
9. "Elgeseter Bru, Tilstandskontroll, Statiske beregninger", Dr. ing. A. Aas Jakobsen Trondheim, August 2001, Statens Vegvesen, Trondheim.
10. STF 2011F0100: "Rehabilitering av brusøyler med alkalireaksjonsskader. Feltforsøk på Elgeseter bru. Registrering 2011", dato 2011-10-25.



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)





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

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**