

Henrik Elgaard Jensen

# Kulfiberbroen i Herning

Henrik Elgaard Jensen



## Kulfiberbroen i Herning

- Ligger i Herning kommune
- Bygherre – Vejdirektoratet
- Arkitekt – Møller og Grønborg
- Rådgiver – COWI
- Entreprenør – C.G. Jensen/Skanska
- Ejer – Herning Kommune
- Indviet 6. september 1999



## Historik

- > Visionen om en bro uden vedligehold
- > Visionen om at anvende "nye" materialer – Fiberbaserede materialer

1. State-of-the-art rapport udarbejdet i 1997
2. Valg af materiale – Kulfibre – Produktspecifikke egenskaber
3. Supplerende undersøgelser – Forankringsforsøg og forskydningsforsøg
4. Fastlægge designfilosofi og design basis
5. Projektforslag og Hovedprojekt
6. Udbud
7. Sparerunde
8. Revideret projekt
9. Udførelse
10. Indvielse 6. september 1999
11. Opfølgende monitoring

## Materialeegenskaber for kul fibre

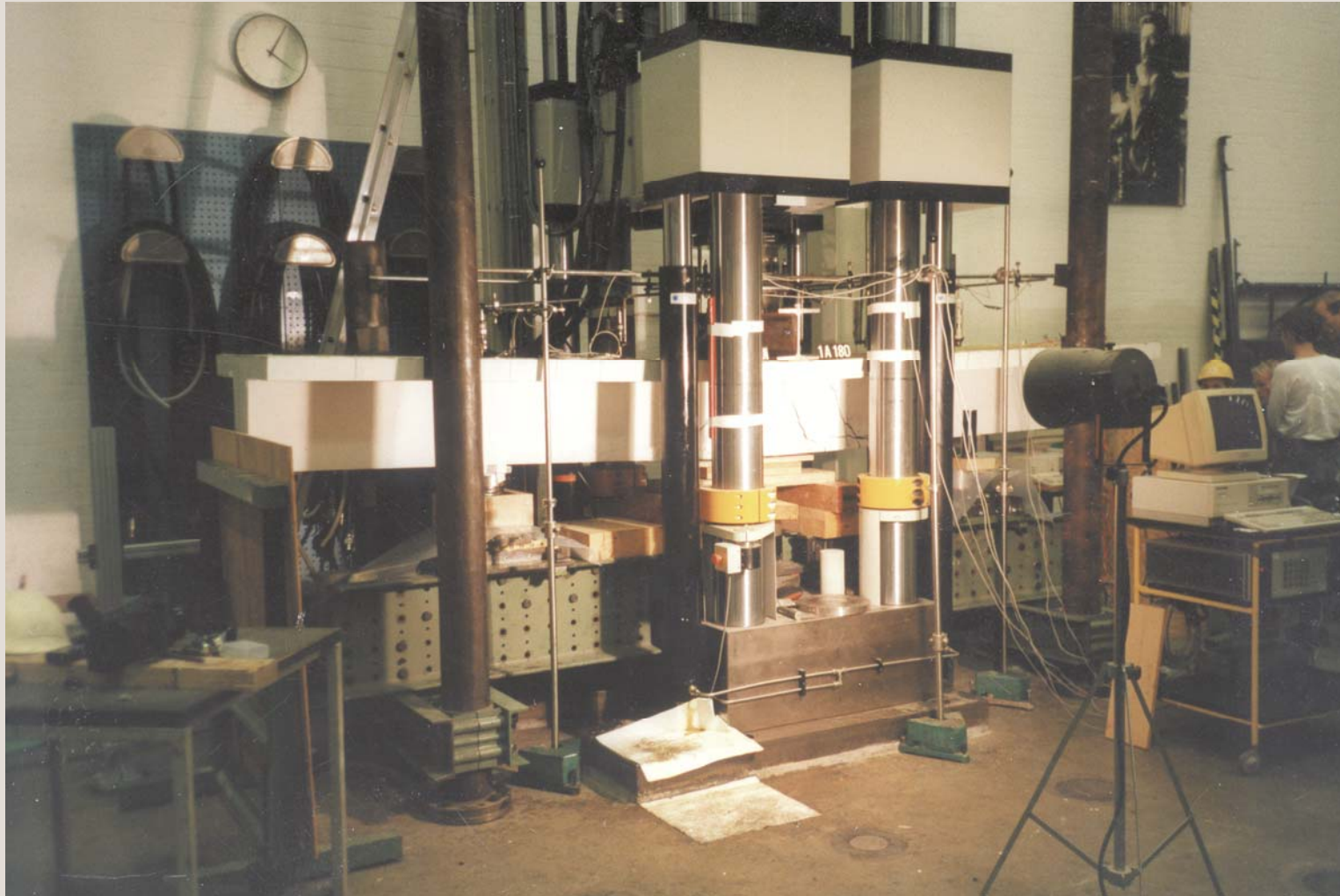
- › Kompositmateriale, der kan designes efter behov – Stænger/plader
- › Høj trækstyrke
- › Lav forskydningsstyrke
- › Tåler dårligt tryk vinkelret på trækretningen
- › Høj stivhed
- › Høj pris – Dengang og stadigvæk
- › Lineært til brud – Sprødt brud
- › Lav vægt
- › Korrosionsresistent
- › Brændbart
- › UV-følsomt
- › Skal formes i produktionen – Ingen efterbearbejdning mulig
- › Forankringer skal formonteres i produktionen – Kræver høj præcision i beregning og udførelse af f.eks. forspændingskabler

# Vedligeholdelsesfri bro Enhver driftsorganisations drøm

> Følgende elementer er valgt med henblik på reduktion af vedligehold:

1. Slap armering af kul fibre
2. Spændarmering af kul fibre
3. Stag af kul fibre
4. Slap armering af rustfast stål
5. Ankerstag af rustfast stål
6. Pylon af Corten stål
7. Apterering af VFZ – stål (traditionelt)
8. Membran udeladt som følge af ovenstående

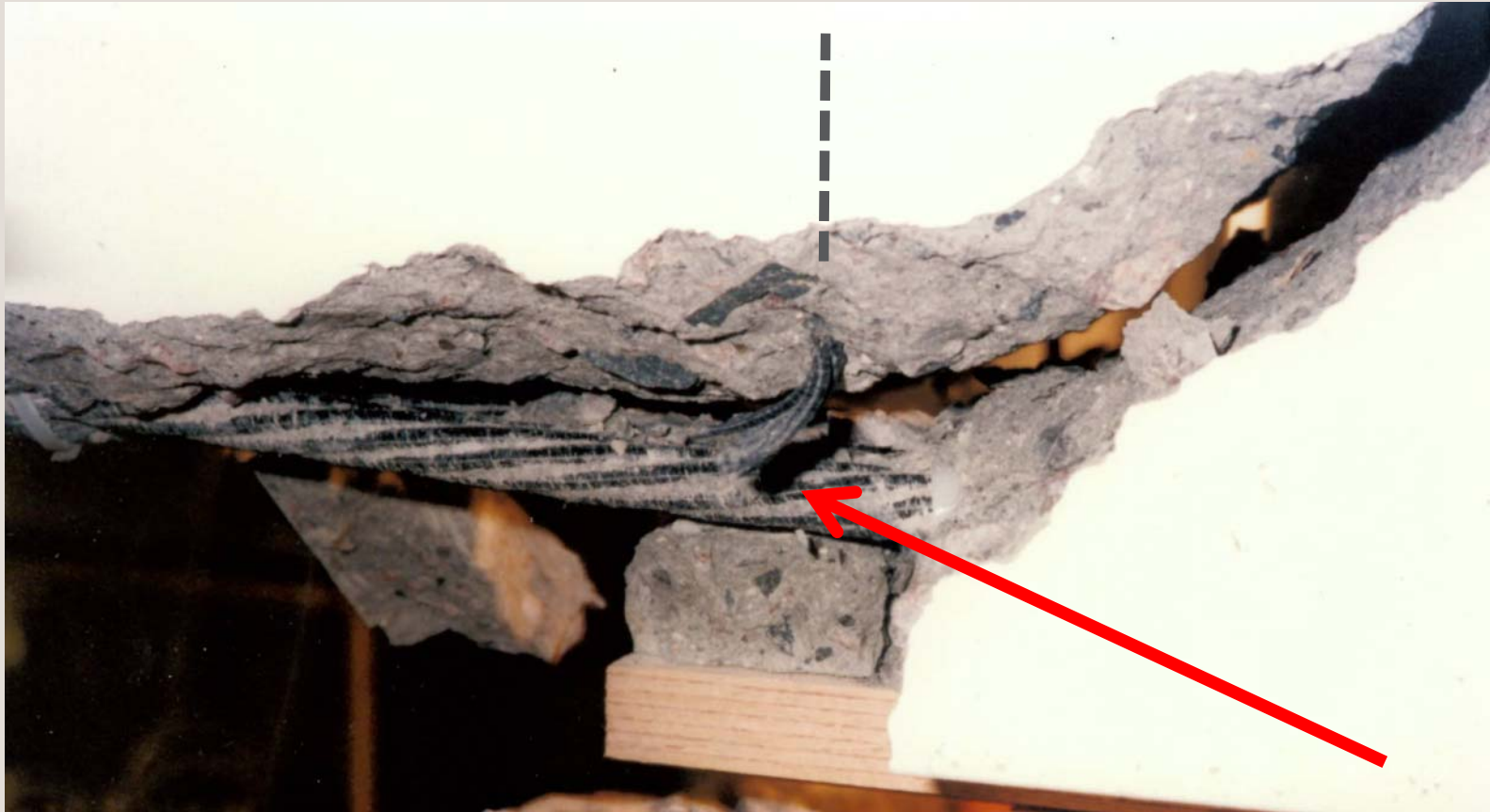
# Forskydningsforsøg - Prøveopstilling



## Forskydningsforsøg – Brud i bøjlehjørne



## Forskydningsforsøg – Brud i bøjlehjørne



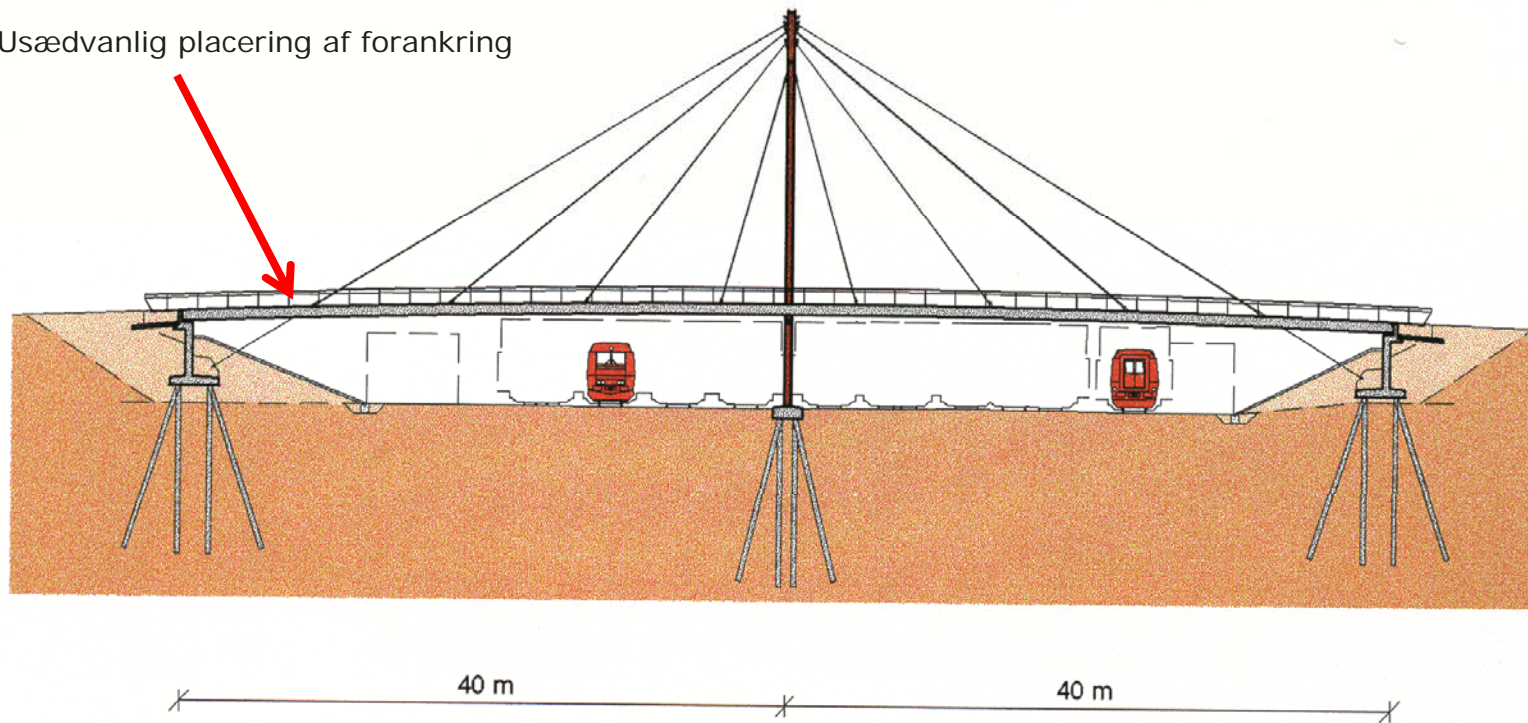


# Beregning

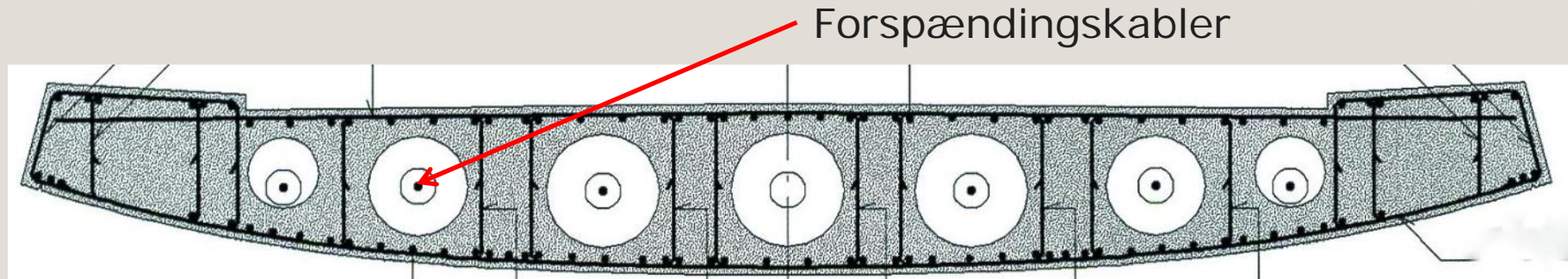
1. Kulfibrene bryder uvarslet – Derfor er der overarmeret mht. slap armering – Dårlig udnyttelsesgrad af et stærkt og dyrt materiale = Uøkonomisk
2. Forankringsegenskaber er produktspecifikke
3. Forskydningsstyrken af bøjlernes hjørner er produktspecifikke

# Statik

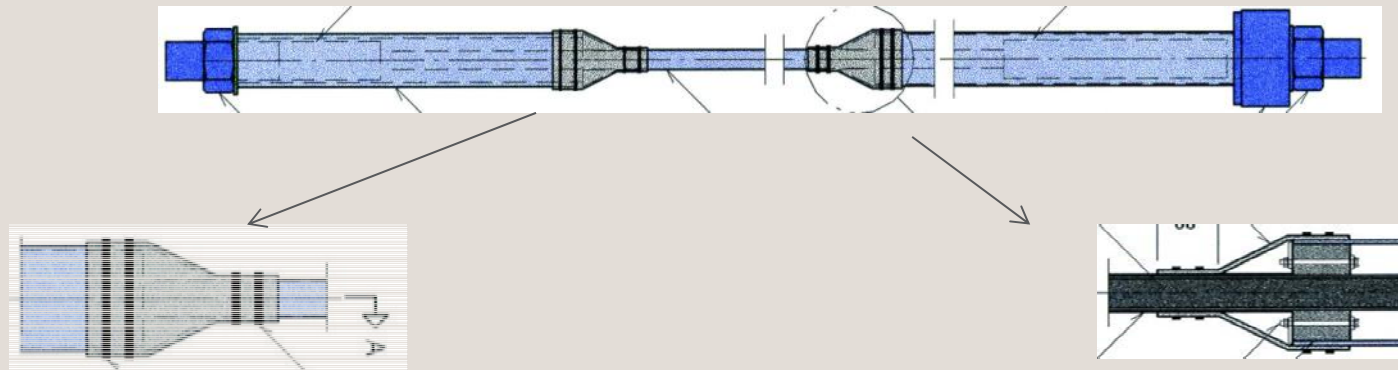
Usædvanlig placering af forankring



## Design – Tværsnit og stag



### Indfæstninger af stag med dæmpere



# Priser

> Bygherreoverslag 7.8 mio.

> Bud i mio. DKK:

1. 10.9
2. 12.6
3. 14.3
4. 14.4
5. 15.1

> Forudsætningen for at gennemføre projektet var en besparelse på 2.0 mio.

1. MacAlloy gaffelforankringer udgik – Længere kabler
2. Prisreduktion fra kulfiberleverandøren
3. Rustfast armering i ½-delen af brodækket

## Udførelse – Rejsning af pylon



# Udførelse Opførelse på stillads med gennemkørselsåbning



## Udførelse – Rustfast armering



## Udførelse - Kulfiber





## Udførelse – Kulfiber i ruller og sparerør



# Udførelse Gangbroer og sparerør med forspændingskanaler



## Udførelse - Gangbroer



## Udførelse – Støbning fra nabobroen

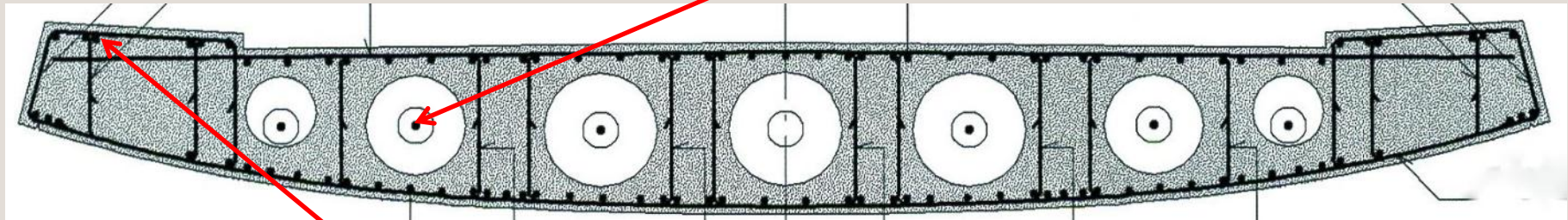


# Udførelse Opspænding af stag løfter broen fri af stillads



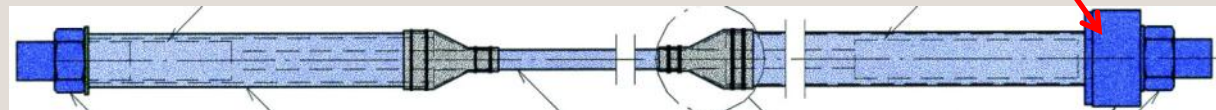
# Konstruktionsmålinger

Forspændingskabler med lastceller

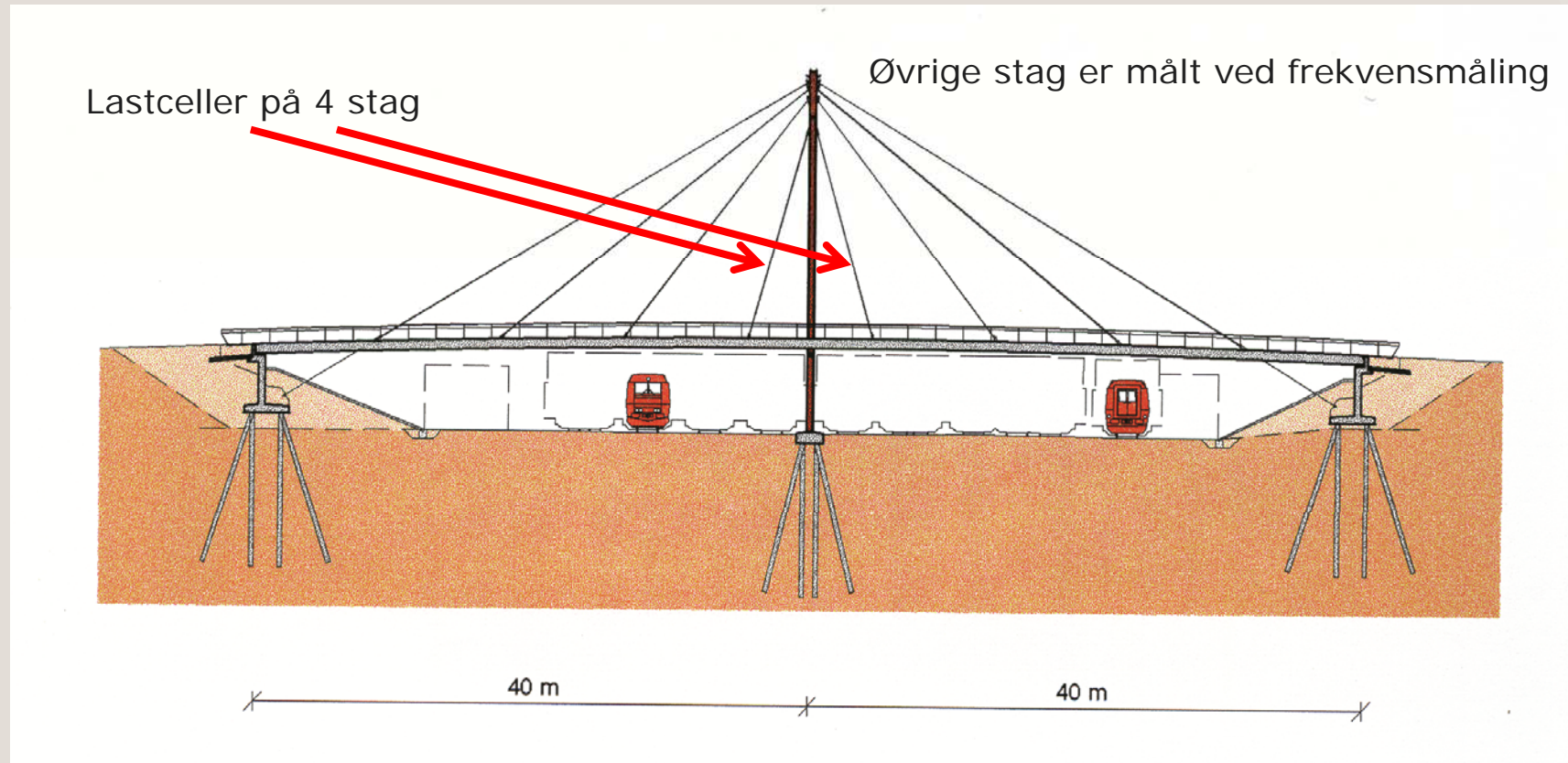


Strain gauges på langsgående armering

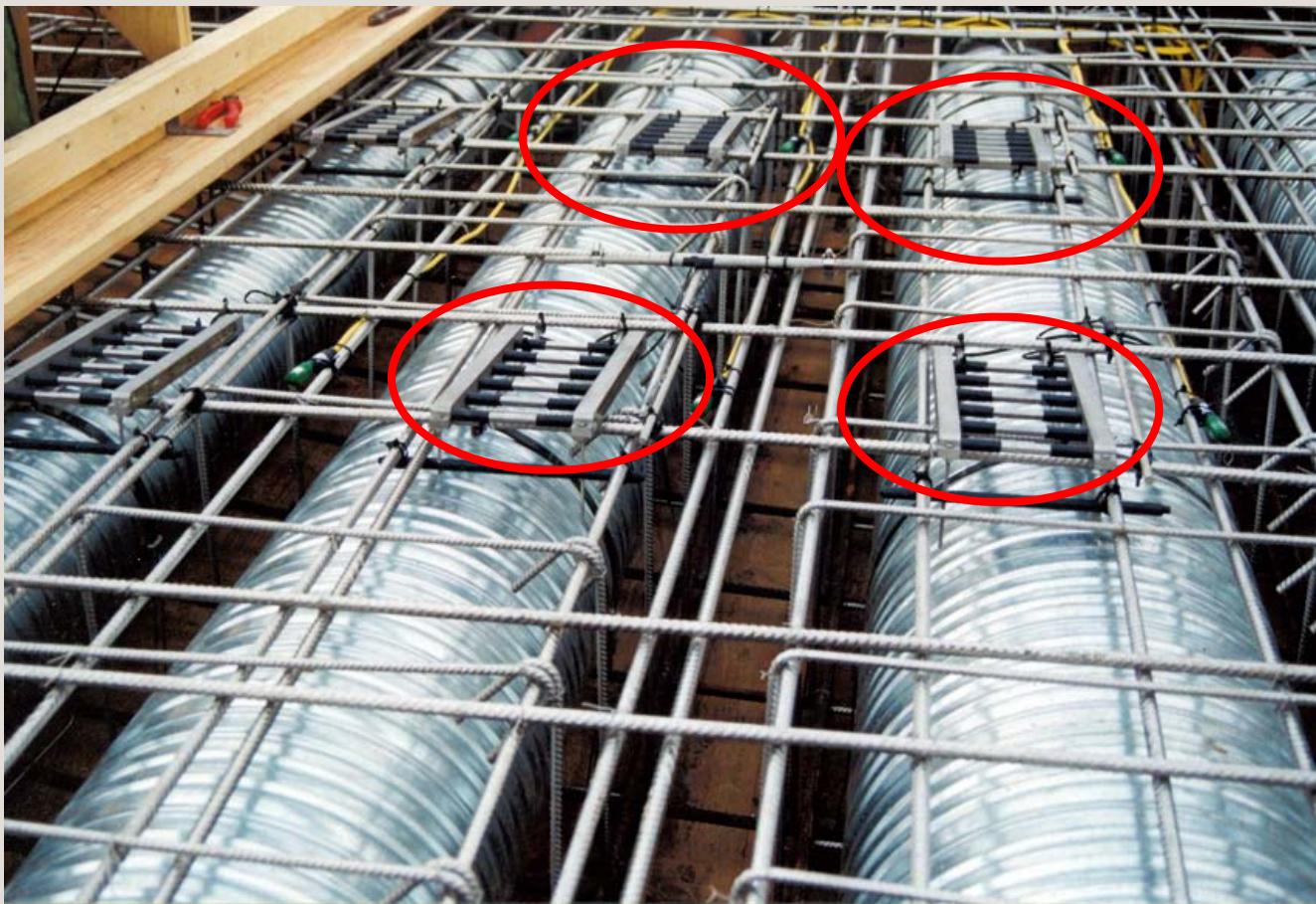
Lastcelle på stag



# Konstruktionsmålinger



# Målinger - Korrosionsmålinger





# Inspektioner og måleresultater

1. Der er ingen visuelle tegn på nedbrydning
2. Konstruktionmålingerne viser en stabil tilstand i egenvægt
3. Korrosionscellerne viste i 2003, at korrosion var i gang på den sorte armering

## Kommende undersøgelser - Udtræksforsøg



## Konklusion

1. En bro som ikke umiddelbart kræver vedligehold
2. Kulfibre er for dyre på nuværende tidspunkt og kommer næppe til at erstatte rustfaststål som korrosionsfri slaparmering – Pris – Bearbejdelighed
3. Der er stor udvikling i forbedringen af de negative egenskaber – Anvendelse på broer med rekordspænd er en mulighed indenfor samme horisont, som udviklingen af stålkabler har undergået siden medio 1800-tallet – Lidt tålmodighed er nok påkrævet 😊



Tak for opmærksomheden  
Håber I får en god brodag 2013