

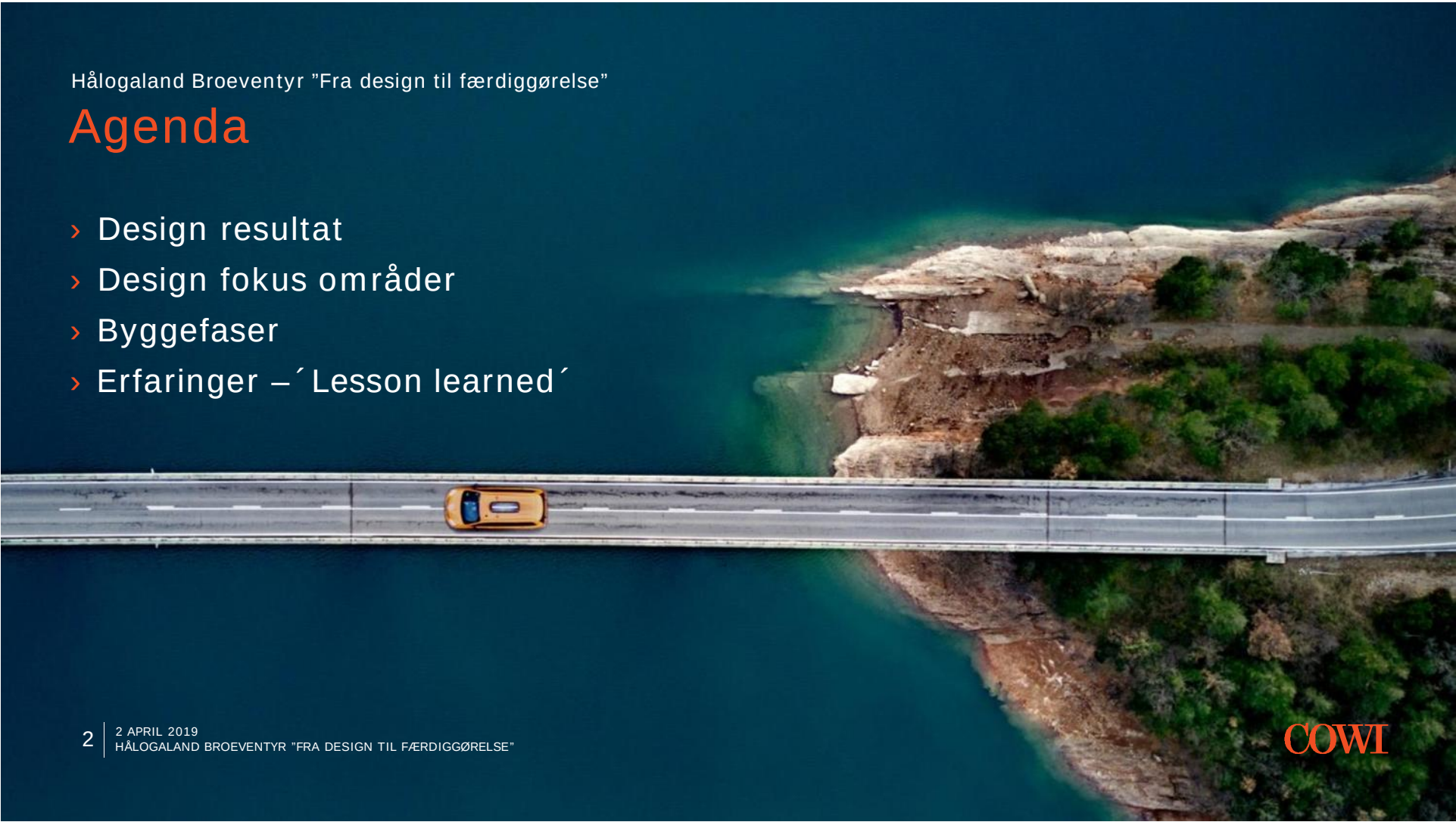
# Hålogaland Broeventyr "Fra design til færdiggørelse"

Assad Jamal, Chief Project Manager,  
Major Bridges International

1

2 APRIL 2019  
HÅLOGALAND BROEVENTYR "FRA DESIGN TIL FÆRDIGGØRELSE"



An aerial photograph of a long, straight bridge spanning a deep blue lake. A single yellow car is driving on the bridge. The surrounding landscape features rocky cliffs and green vegetation.

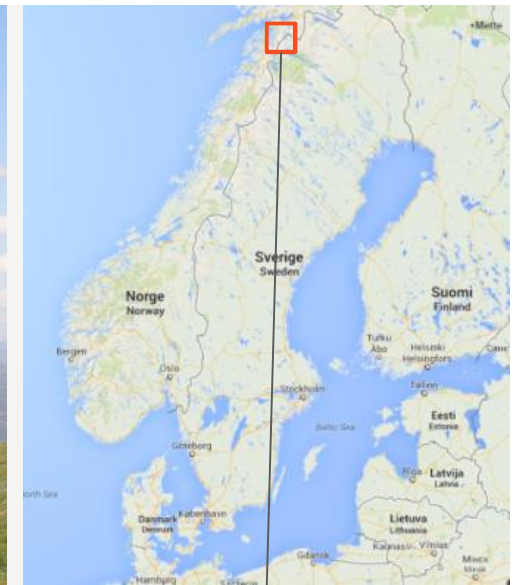
Hålogaland Broeventyr "Fra design til færdiggørelse"

## Agenda

- › Design resultat
- › Design fokus områder
- › Byggefaser
- › Erfaringer – 'Lesson learned'

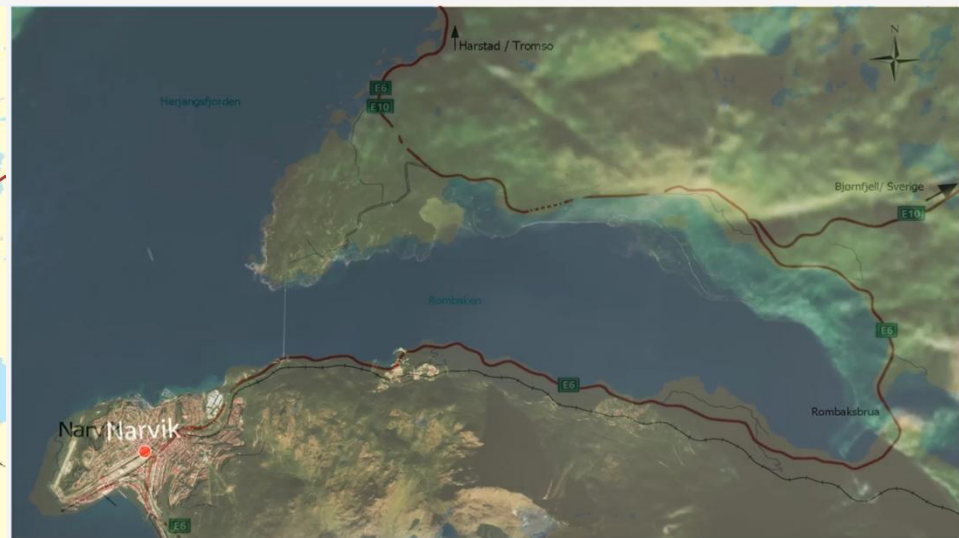


## Bro Placering – Norway (Narvik)



# Bro, Vej, Tunnel

- › 1,4 km vejbane fra Narvik
- › Ornes tunnel 270 m På Narvik side
- › Hålogaland bro, Total længde på 1533 m
- › 3,5 km vejbane på Øyjord side
- › Storlikoll tunnel 330 m Øyjord side
- › Trældaltunnel tunnel 1110 m





# Hålogaland Bro – Baggrund

3.800.000.000

## Fordele

- › 4500 tons reduceret CO2
- › Reducerede trafikomkostninger-E6
- › Motorvej er forkortet med 18 km
- › Reduceret rejsetid til lufthavnen med 20-25min.
- › Begrænset trafikulykker/Stenskred – trafiksikkerhed er forbedret
- › Adgang til nye områder på den nordlige side af "fjorden"
- › Udvikling af infrastrukturen

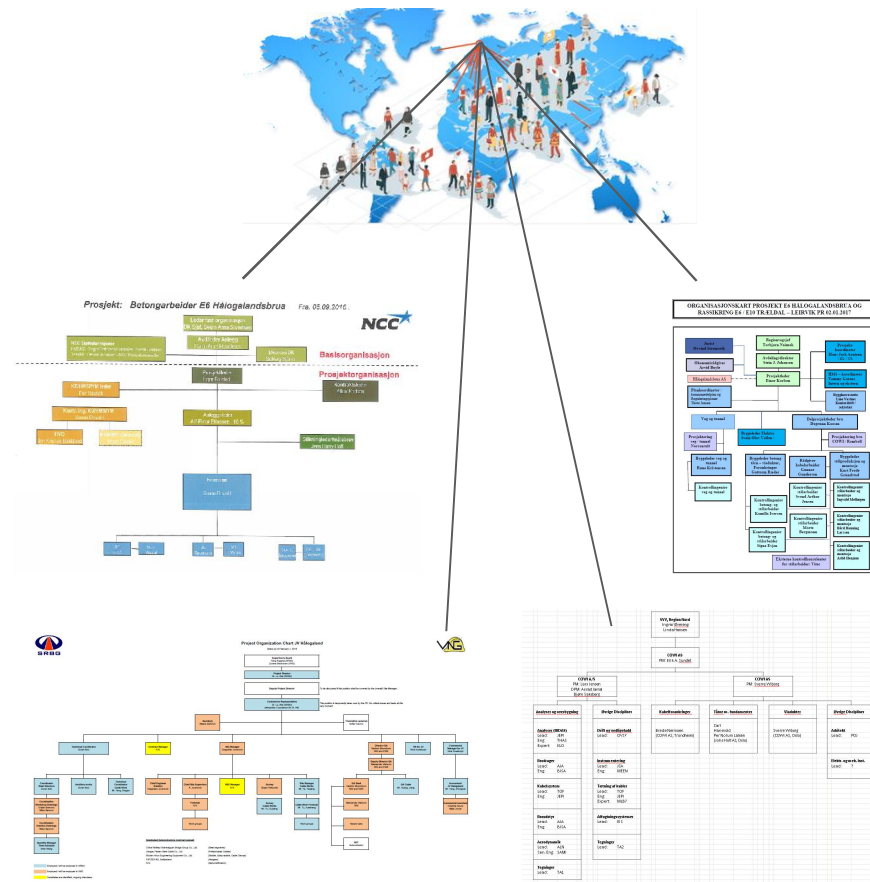
---

Samlede samfundsmæssige nytte: 4,5 milliarder



# Organisation – Hålogaland Bro

- › **Design:** COWI, JH (Tårne inkl. fundamenter), NGI (Geotekniske/klippe-forankring)
- › **Arkitekter:** Dissing & Weitling
- › **Broejer:** SVV (statens Vegvesen region nord)
- › **Entreprenører:** Stål: Joint venture Hålogaland (SRBG, Kina & VNG, serbisk)
- › **Beton:** NCC
- › **Tilsyn:** VITEC m.m





# Hålogaland Bro Tidslinje

|            |                                                    |
|------------|----------------------------------------------------|
| 1980-2000: | Tunnel? Bro? Oppgradering av eksisterende E6?      |
| 2003-2006: | Udvikling af den kommunale sektorplan              |
| 2006-2008: | Udvikling af byplanlægning                         |
| 2007:      | Konceptudvikling                                   |
| 2008-2009: | Grundlæggende design & byggeomkostninger estimerer |
| 2009-2010: | Design af bud (detaljeret designfase 1)            |
| 2012:      | Finansiering godkendt af Stortinget                |
| 2012:      | Afsluttede udbudsdokumenter                        |
| 2012:      | Vej, klippe & tunnel arbejde udbudt                |
| 2013:      | Bro beton kontraktudbud                            |
| 2013:      | NCC-betonkonstruktion start (2 år)                 |
| 2013:      | Bro stål kontrakt udbudt                           |
| 2014:      | Detaljeret designfase 2 afsluttet                  |
| 2015:      | SRBG-stål byggeri påbegyndt (3 år)                 |
| 2018:      | Broen afsluttet – åbnet for trafik 09/12           |
| 2019:      | Opfølgning                                         |



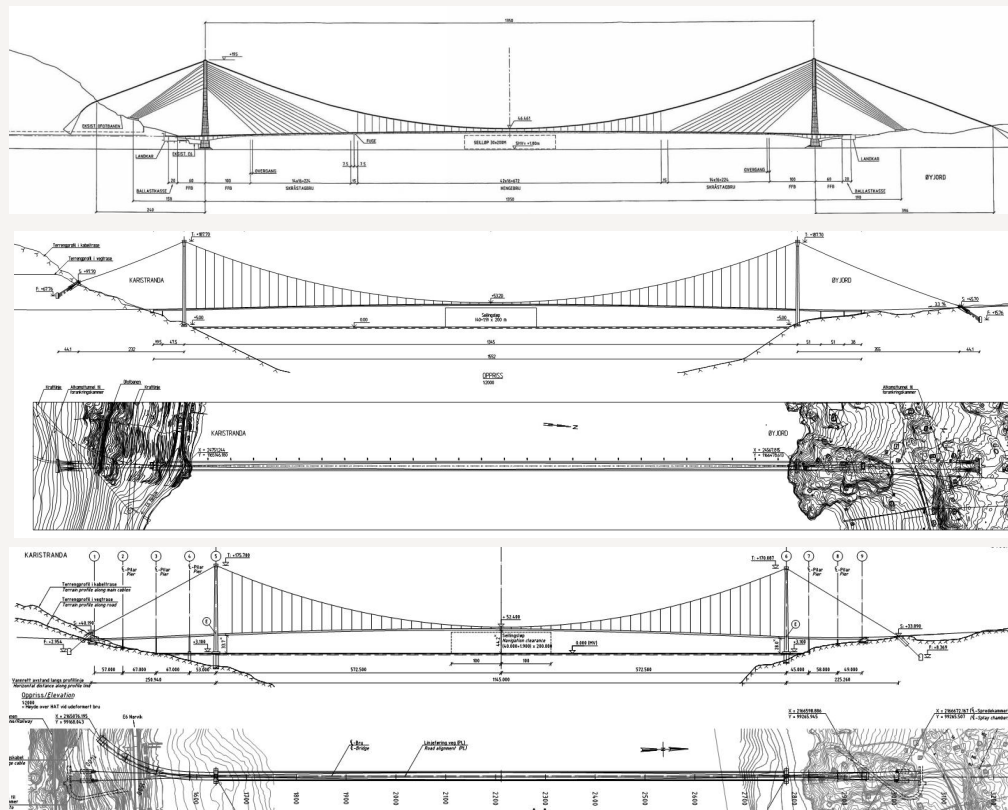
# Design udvikling

2007:

- › Hængebro vs "bro symfoni"
- › Broen lige over "fjorden"
- › Lang tunnel på sydsiden
- › Hovedfag 1345m
- › Viadukter meget kort

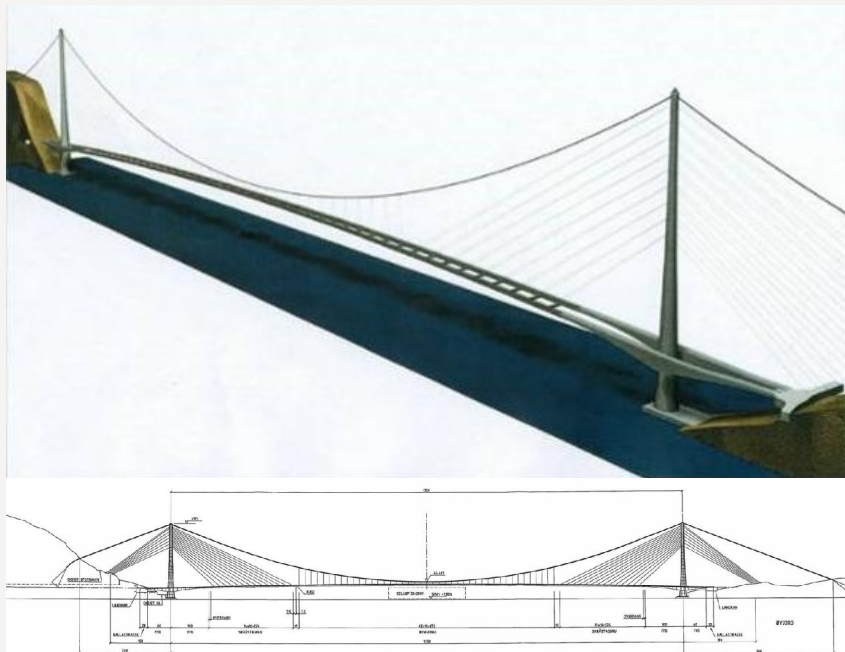
2008-2009:

- › "Broen symfoni" ud
- › Bro linjeføring – syd viadukt kurvet
- › Lange viadukter
- › Tårn flyttet ind i Fjord-tunnel omkostningsbesparelser
- › Tårn fundamenter i vanddybde på -30m
- › Hovedfag reduceret til 1145m



# Alternative Bro koncepter

Bro symfoni



Traditionel H-tårn hængebro

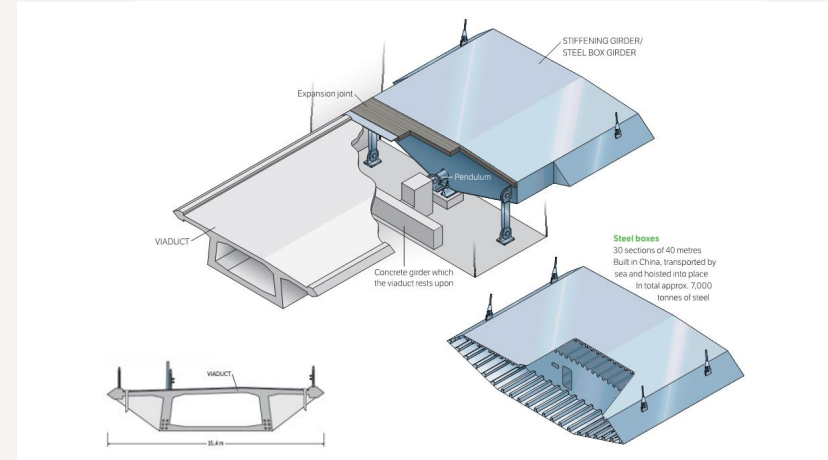
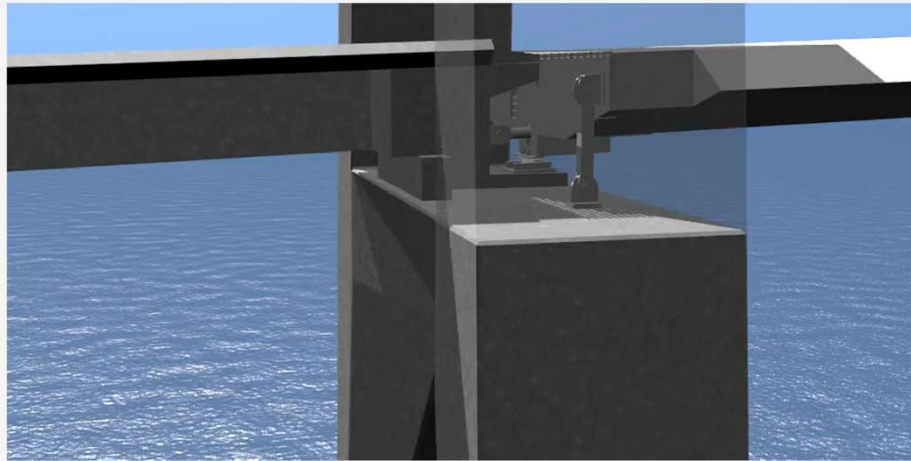




## Hålogaland – karakteristika

- › 1-fags Hængebro
- › Næst længste hovedfag i Norge, 1145 m
- › Hovedkablerne forankres i fjeldet
- › 3D Kabel system

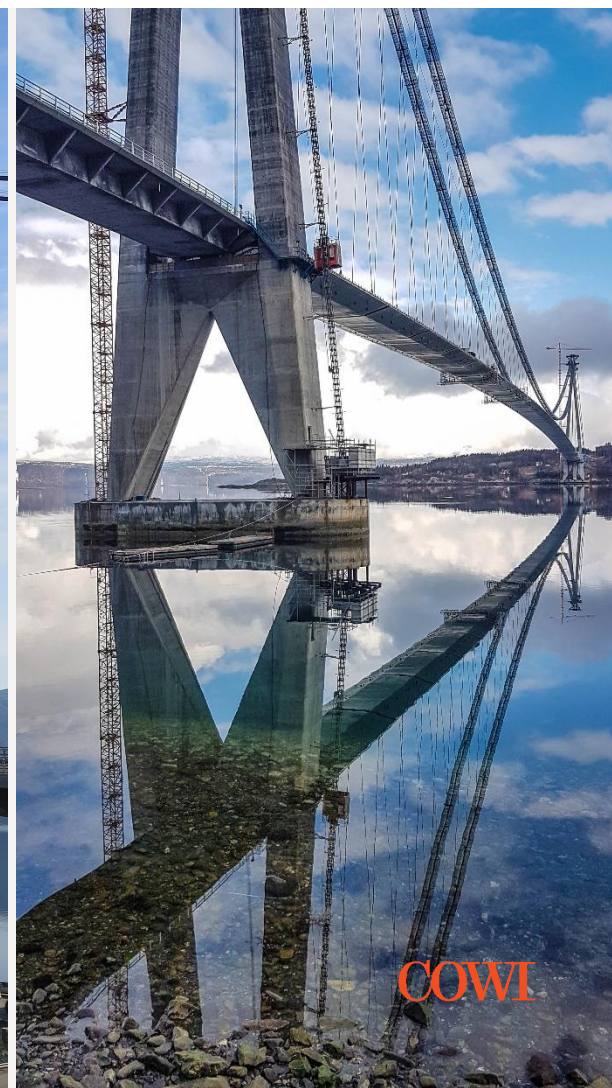
# Statisk System









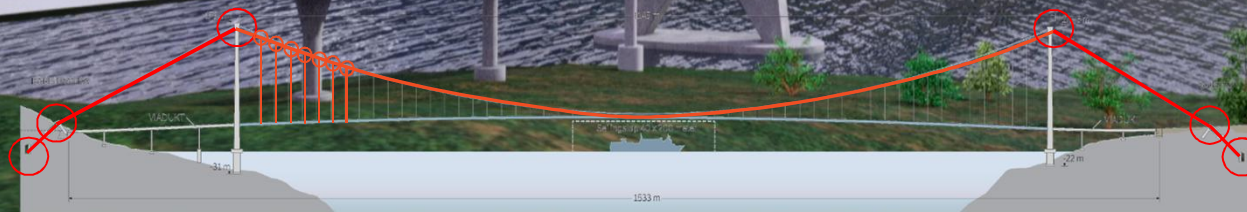




# Design af kabel konstruktioner



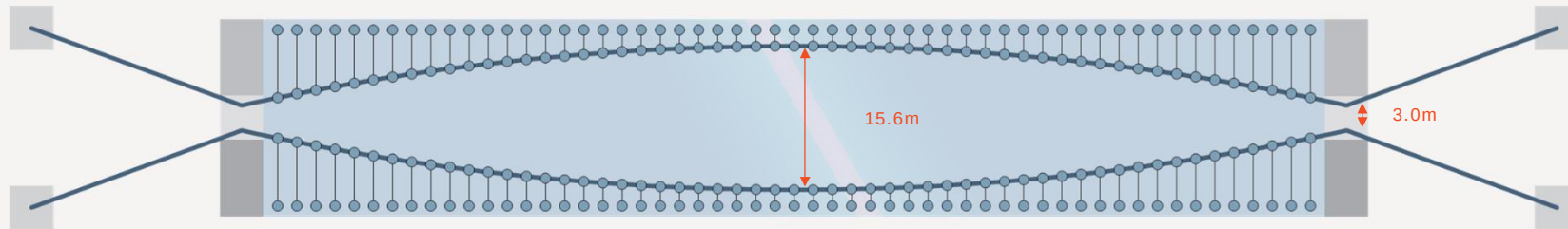
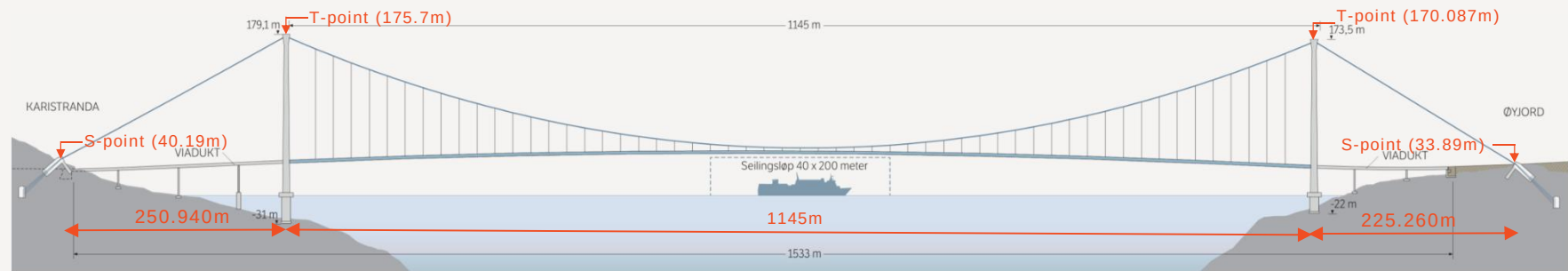
- > Minimer mængder & omkostninger
- > Fabrikation & installation nemmere
- > Optimeret inspektion & vedligeholdelse
- > Optimerede & æstetiske designs



Hålogaland Bro

# Design af Kabel konstruktioner

Layout

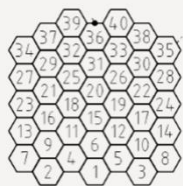




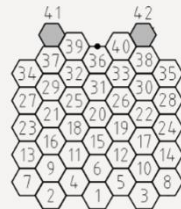
## Design af Kabel konstruktioner

### HOVEDKABEL

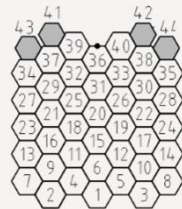
- › Skrå kabel planer på Hålogaland Bro skyldes æstetik – A-tårne
- › Affugtning af kabler et centralt emne i moderne hængebroer på grund af vedligeholdelse
- › Firkantet ikke-komprimeret form gavnlige for sadler og forankringer
- › Ø 5.96mm wires (1770MPa)



Main span



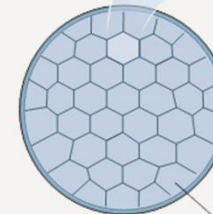
Side span Karistranda



Side span Øyjord



DELKABEL  
127 ståltråder Ø 5,96 mm

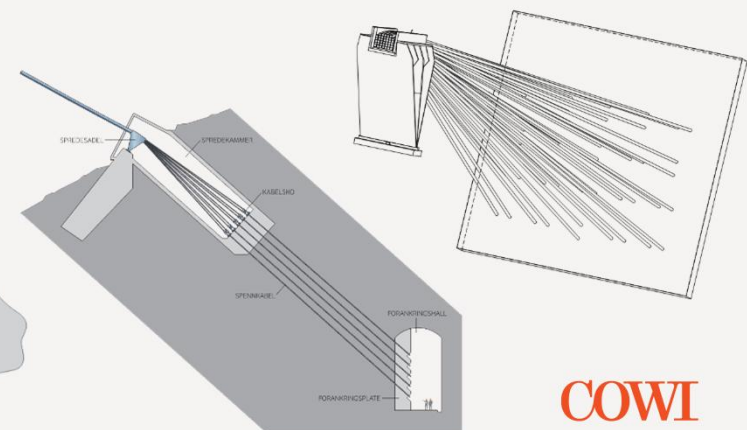
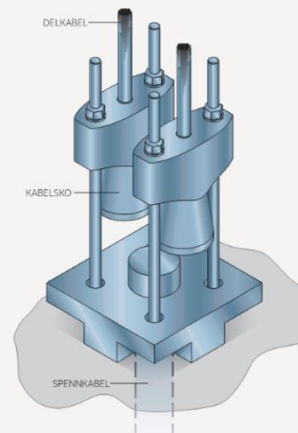
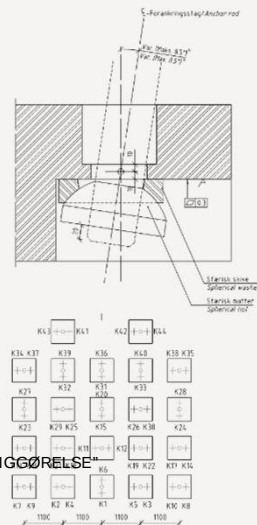


Compacted cable

BÆREKABEL  
Ø 47,5 cm  
40 kabelbunter

- › Mere kompakt kabel forankring layout giver mulighed for mindre anker kamre

- › Et selvjusterende design med sfæriske spændeskiver – Nemmere installation
- › Cross Head plader placeret på plane overflade i stedet for en buet overflade

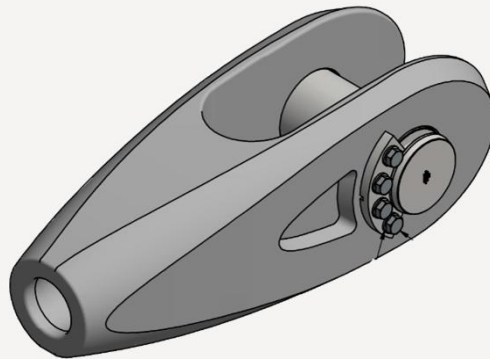
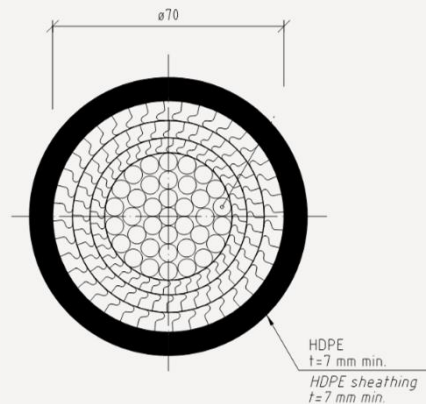


Hålogaland Bro

## Design af kabel konstruktioner

### HÆNGERE

- › 70mm Locked coil kabler. HDPE sheathing for durability
- › Høj styrke kabelhoveder





# Hængebro – Aerodynamik



10 | JUL 2018

DESIGNEREN: EN EVENTYR FRA DESIGN TIL FÆRDIGGØRELSE

COWI

# Aerodynamisk design af Hængebroer

## DESIGN MÅL

- › Mindste vindbelastning på stålkassen
- › Ingen vortex inducerede vibrationer (VIV)
- › Høj vindhastighed for flutter ustabilitet
- › Designerne udfordring er at nå alle tre mål- kompromis!

## DESIGNER TILGANG

- › Aerodynamiske analyser baseret på vind måling fra byggepladsen
- › Optimer brodæks layout for at eliminere VIV
- › DVM flow simulation vs vindtunnel test – Flutter
- › Opdater FE-model baseret på vindtunnel resultater

# Aerodynamisk design af hængebroer

- › Aerodynamisk lukket kasse optimal

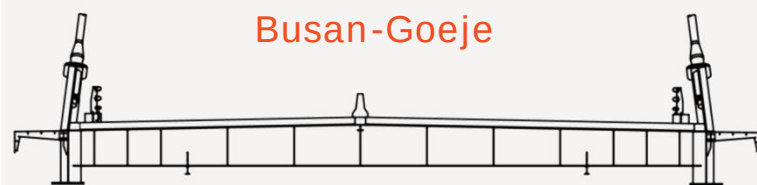


Plate girder drag coefficient = 0.18



Trapezoidal box girder drag coefficient = 0.08

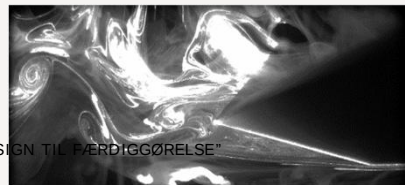
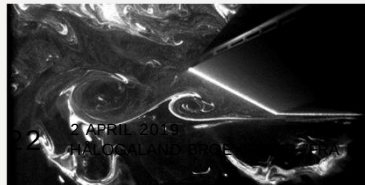
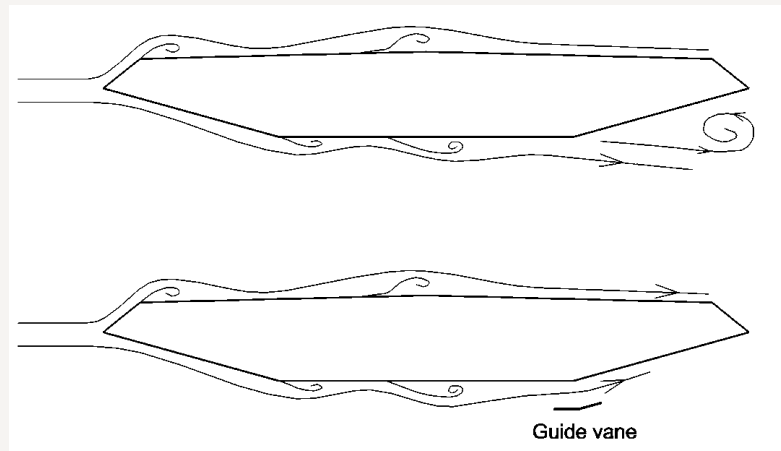




# Vortex inducerede vibrationer VIV

Bluff tværsnit vil fremme vortex inducerede vibrationer

Great Belt Hængebro



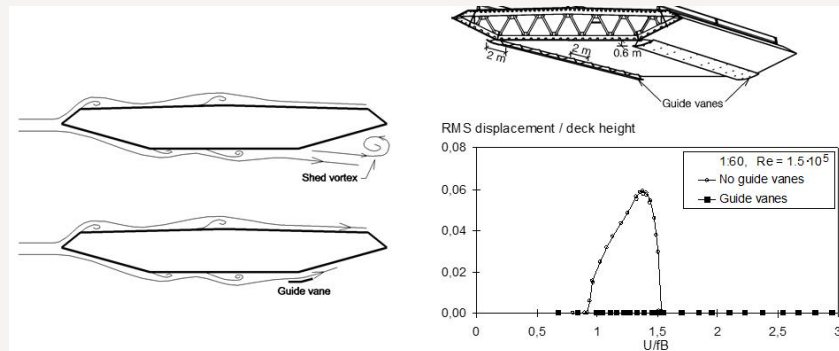
Østerøy Hængebro



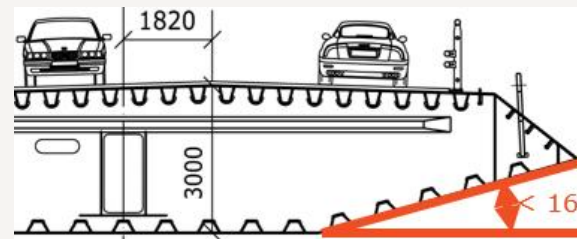
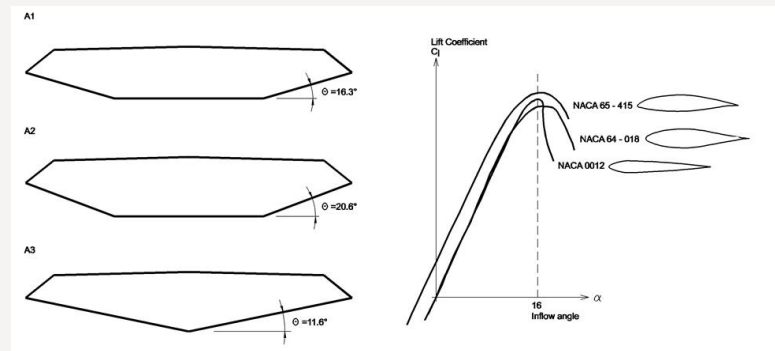
# Undgå vortex inducerede vibrationer VIV

- › Hældning af de nedre skrå sideplader er på 15,8 grader
- › Vortex shedding excitation reduceret - Ikke nødvendigt at installere guide vanes

Storebælt Hængebro



Hålogaland Hængebro



## Vindtunnel tests – kritisk Vindhastighed for Flutter

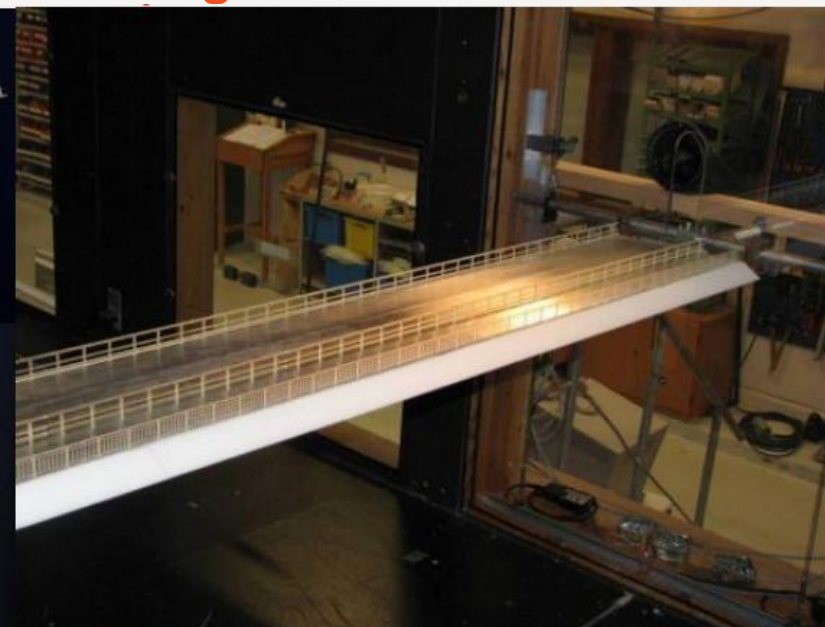
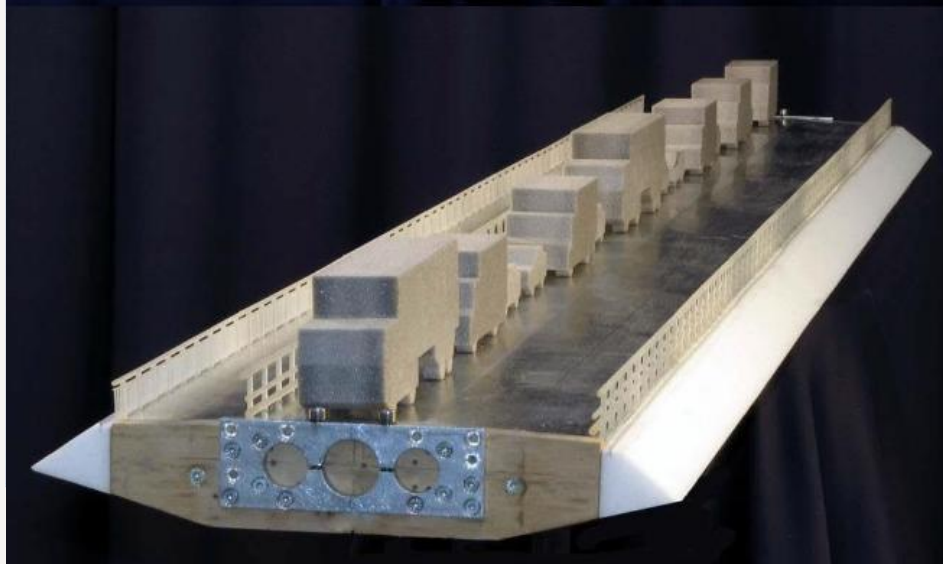
- › Flutter: en tilstand, som en brodæk bliver ustabil og svinger
- › Høj torsionsstivhed giver høj flutter Vindhastighed



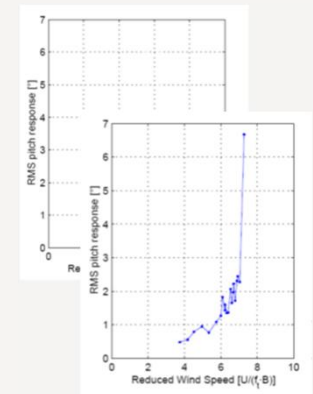
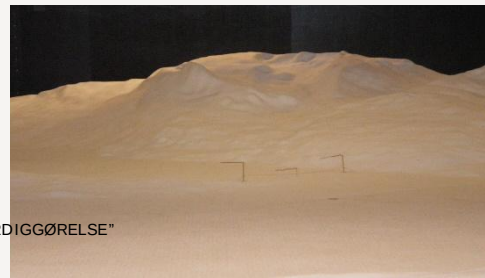


## Vindtunnel tests – kritisk Vindhastighed

Critical wind speed: 71 m/s



## Terræn model – afprøvning af design parametre



26 2 APRIL 2019  
HÅLOGALAND BROEVENTYR "FRA DESIGN TIL FÆRDIGGØRELSE"

# Hålogaland Byggeri

27 | 2 APRIL 2019  
HÅLOGALAND BROEVENTYR "FRA DESIGN TIL FÆRDIGGØRELSE"

COWI



# Hålogaland Byggeri – Tidslinje

## Beton kontrakt (~2,5 år)

- › Udgravning under vand
- › Viadukter
- › Tårn fundamenter-Caissons
- › Tårn

## Stål kontrakt (~3 år)

- › Kablesystem (1år)
- › Løft af brodæk sektioner (2M)
- › Svejsning af brodæk (1 år)
- › Affugtning-system (4M)
- › Tårnhus i rustfritt stål
- › Elektroentreprise
- › Inspektionsvogn



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

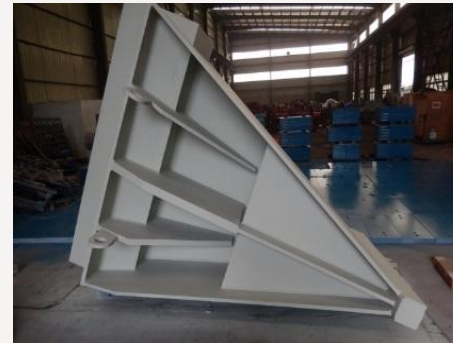
- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Kompaktering af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel

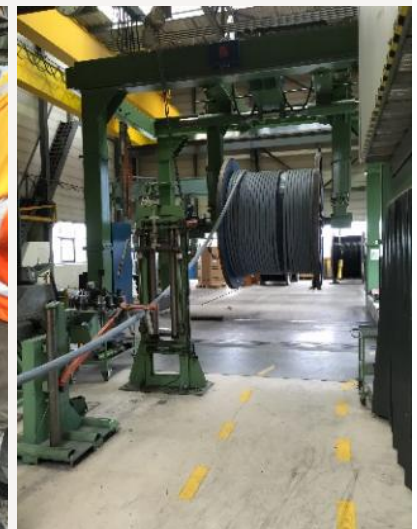




Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

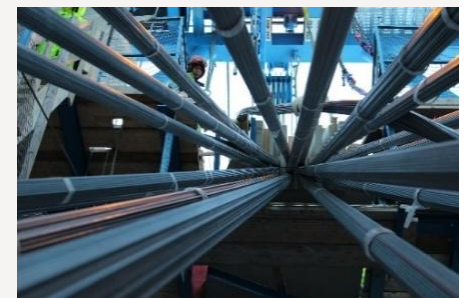
- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Spredde Kamre & spredde sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel

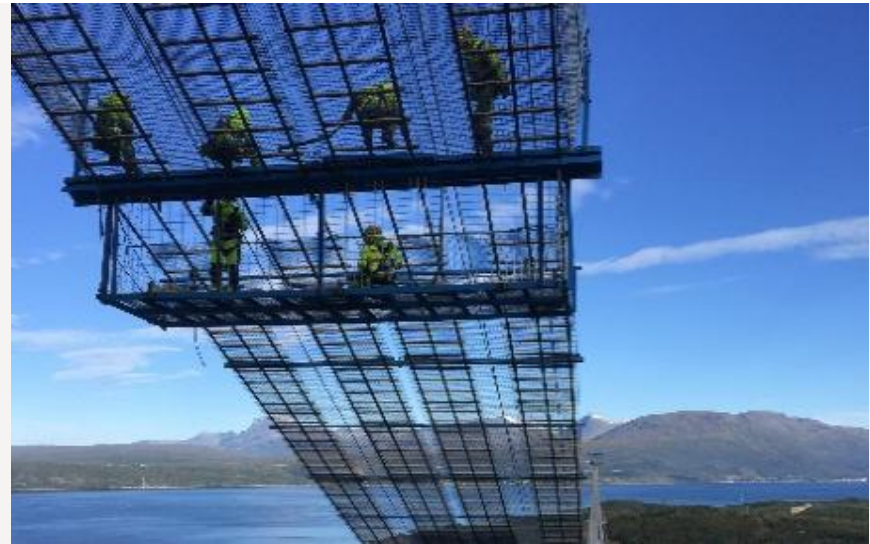




Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
  - › Temporary structure. Designed by contractor (3M)
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

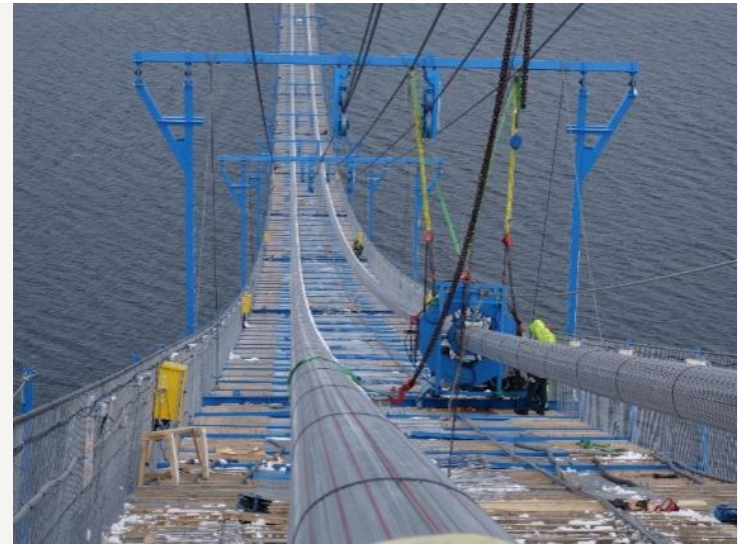
- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel





Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Spredde Kamre & spredde sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel

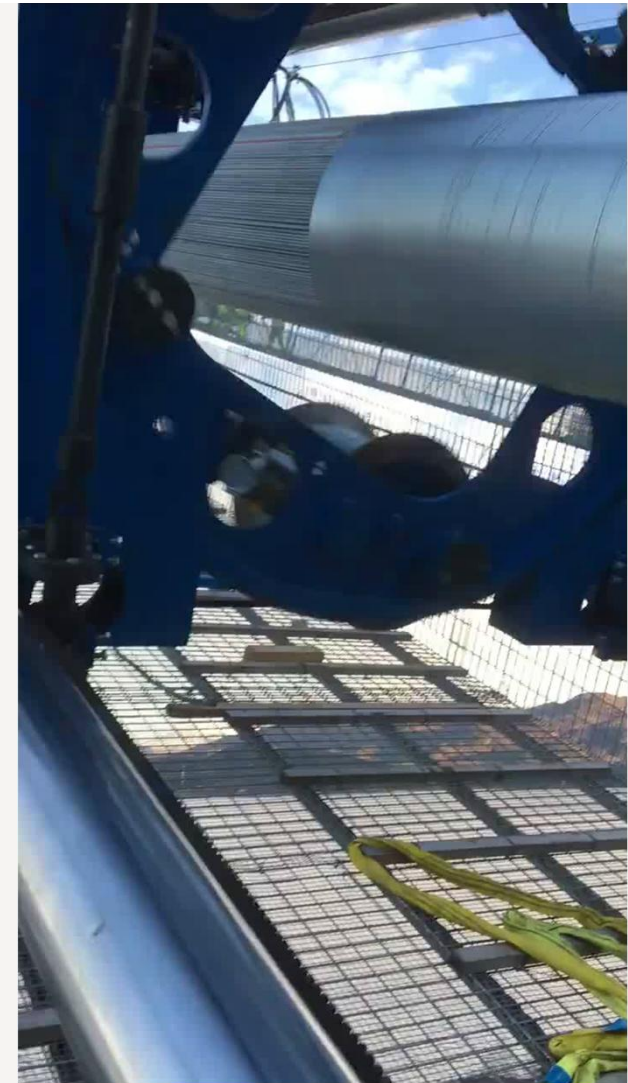




Hålogaland Bro

## Konstruktion af kabel konstruktioner

- › Fabrikation af Hovedkabel
- › Fabrikation af Sadler & Kabelklemmer
- › Fabrikation af Hængere
- › Installation af Sprede Kamre & sprede sadler
- › Installation af Tårn Sadler
- › Installation af Catwalk
- › Installation af Hovedkabel
- › Compacting af Hovedkabel
- › Tværflytning af Hovedkabel
- › Installation af Kabelklemmer & Hængere
- › Flytning af Tårn Sadler
- › Bevikling af Hovedkabel



## Bridge deck lifting

41

2 APRIL 2019  
HÅLOGALAND BROEVENTYR "FRA DESIGN TIL FÆRDIGGØRELSE"



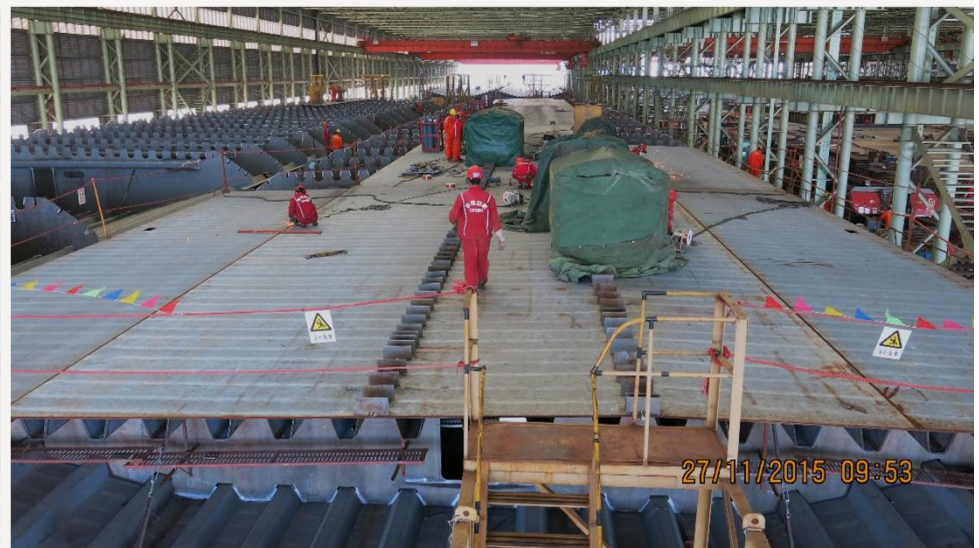
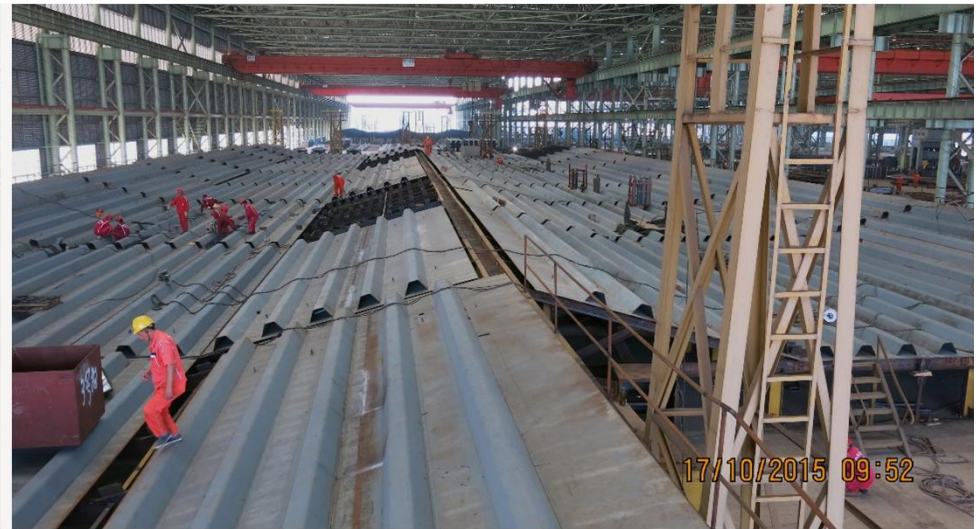




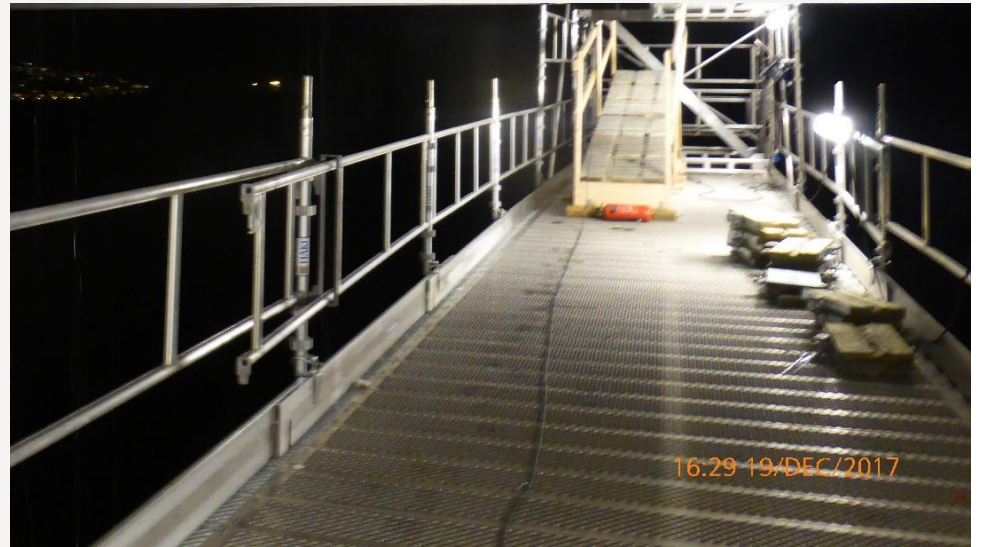








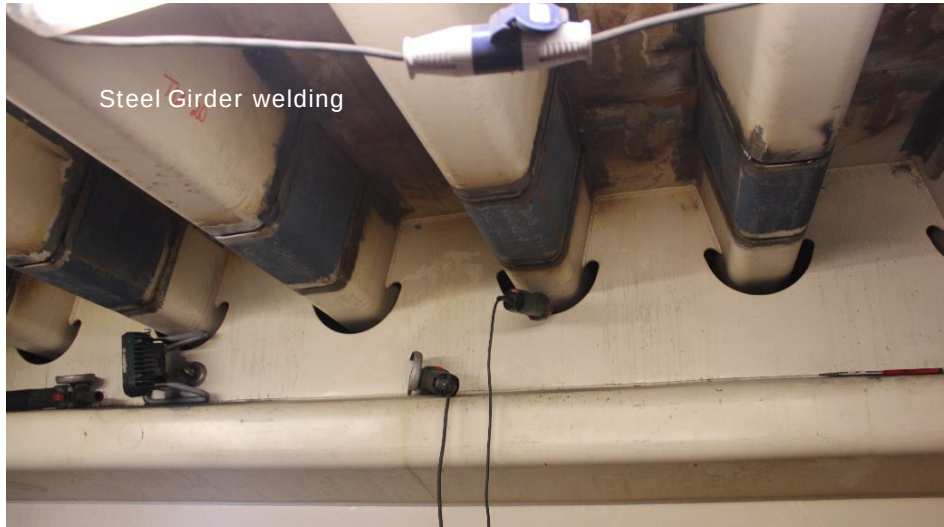












Hålogaland Bro – Fra Design til færdiggørelse

## Learning

1. Koncept & Design udvikling
  - › Hvad, hvordan, hvorfor
  - › Tilføj værdi – Vær stolt!
  - › Kommunikation & Relationer
2. Design Key Focus områder
  - › Avanceret FE-modellering
  - › Lær & bygge videre på tidligere erfaringer
3. Byggefasen
  - › Tæt opfølgning
  - › Robust design på vigtige konstruktions områder

Værdien er hvad du lærer undervejs ikke når det er slut!





# Hålogaland Broeventyr

## Fra Design til Færdiggørelse

THANK YOU!



Assad Jamal, Chief Project Manager,  
Major Bridges International,  
[aja@cowi.dk](mailto:aja@cowi.dk)