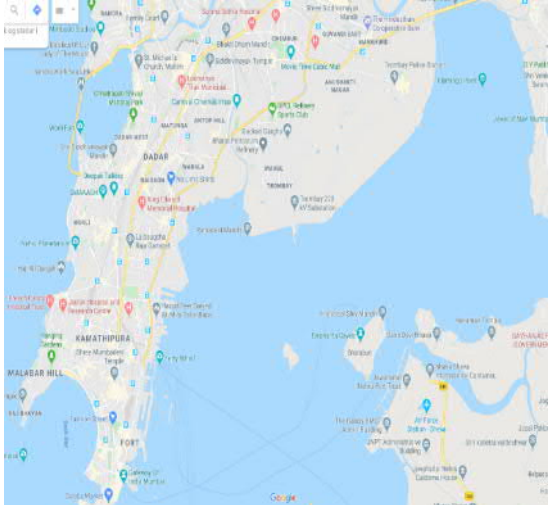


# Mumbai Trans Harbour Link

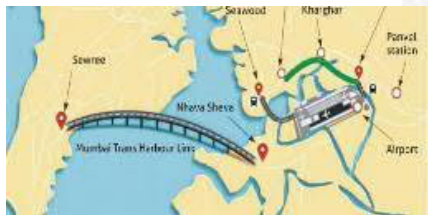
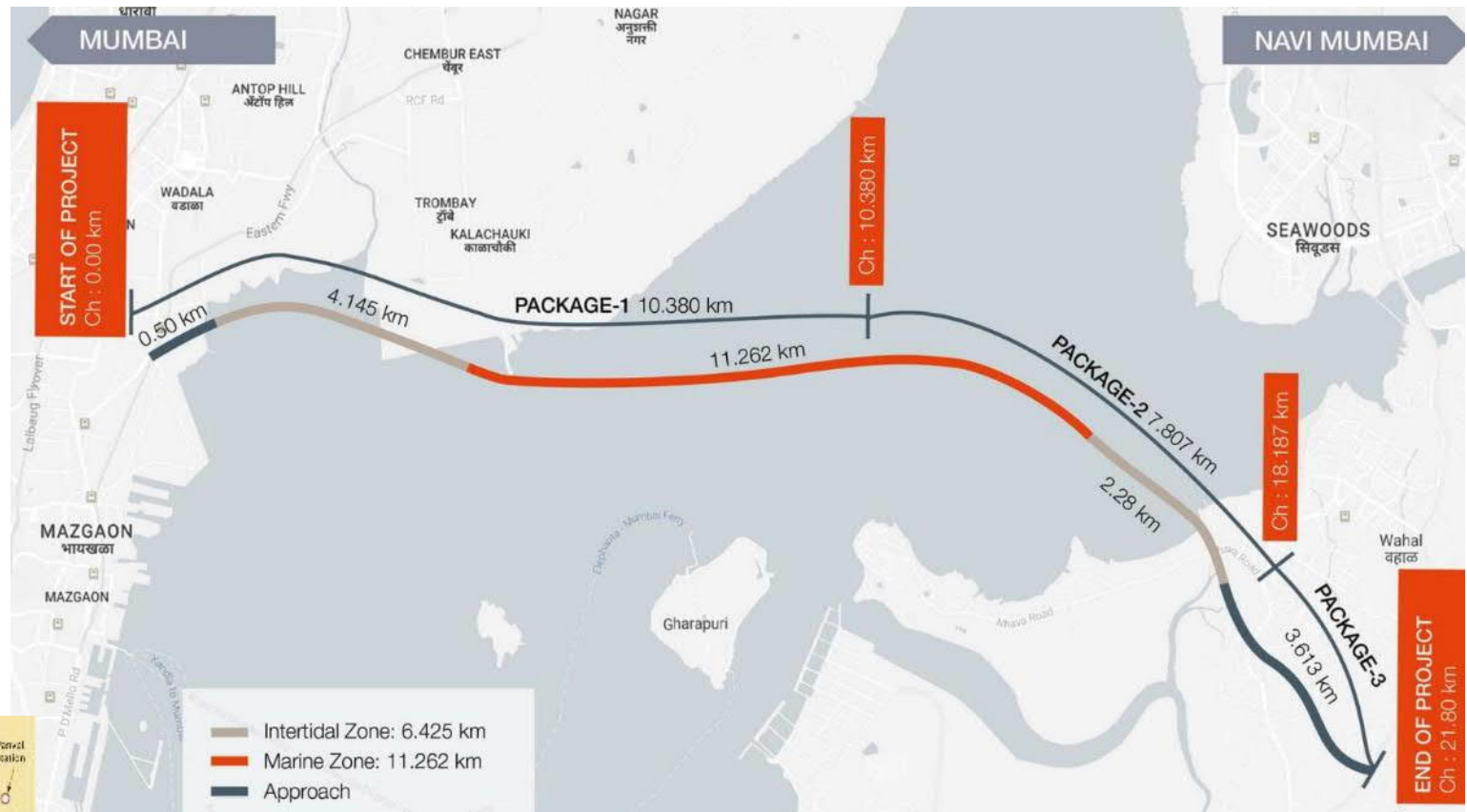


Mumbai



## Mumbai Trans Harbour Link, MTHL

MTHL består af  
3 pakker  
Hver pakke er  
én entreprise



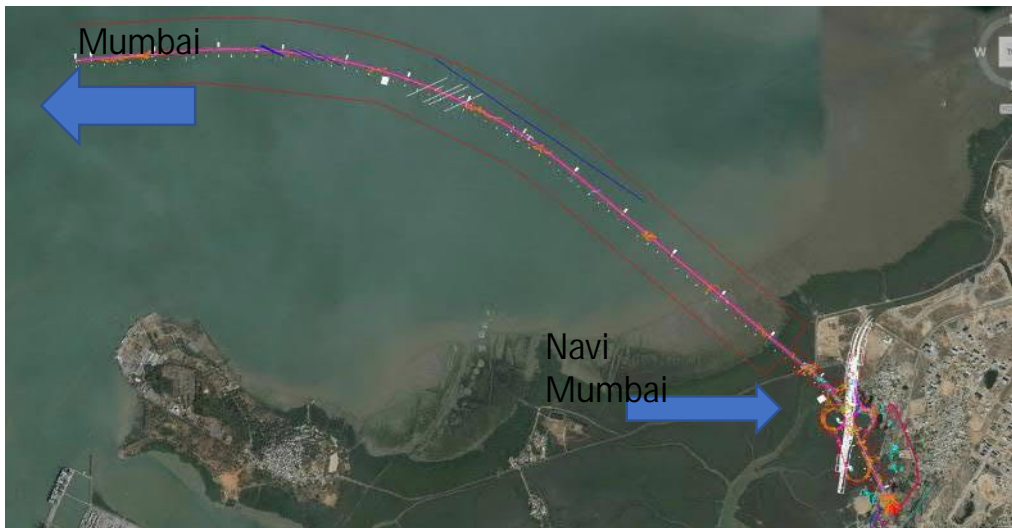
Pakke 2 består af ca. 8 km Hovedbro og et tilslutningsanlæg, også på bro

Tilslutningsanlægget og ca. 2km af broen er i tidevandszonen

Øvrig bro er over vand.

Entreprenør TATA-projects og DAEWOO

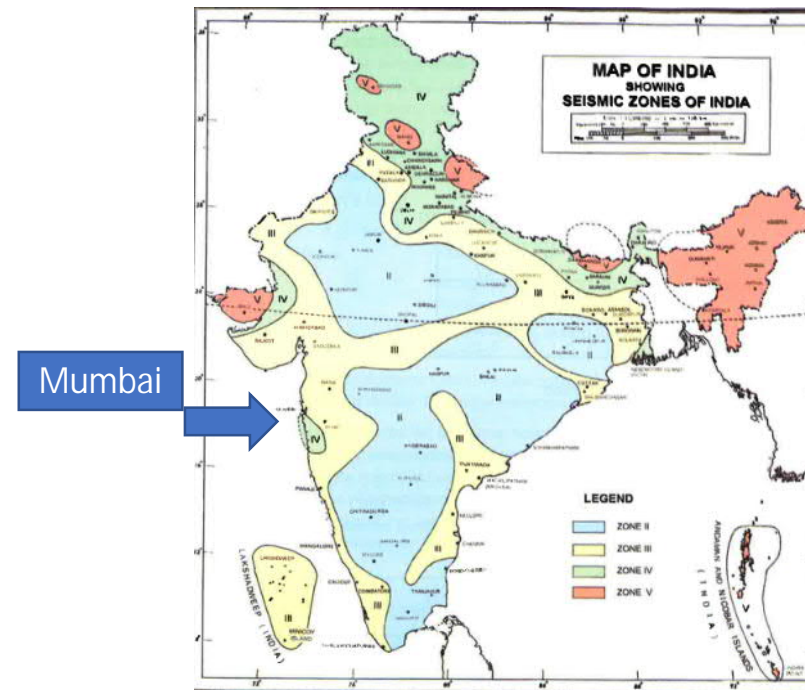
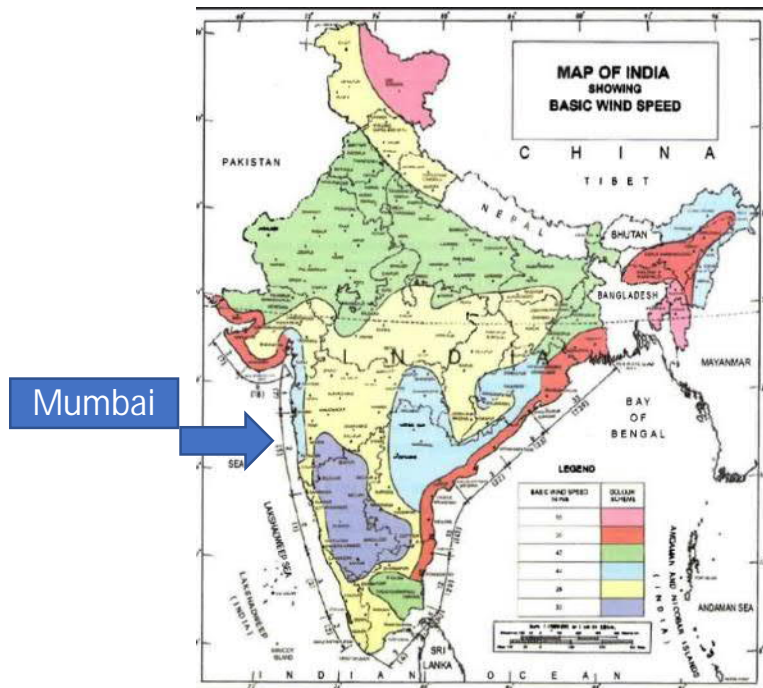
Hovedmængder:  
8000 elementer  
200.000 m<sup>3</sup> beton  
20.000t armering  
200km forspændingskabler  
5000 opspændinger  
➡ Masseproduktion



Store vandrette kræfter

Krav om elastisk opførsel under seismisk last, medfører at overbygningens vægt bør reduceres mest mulig.  
Stor vindlast sætter en grænse for hvor meget vandret last kan reduceres.

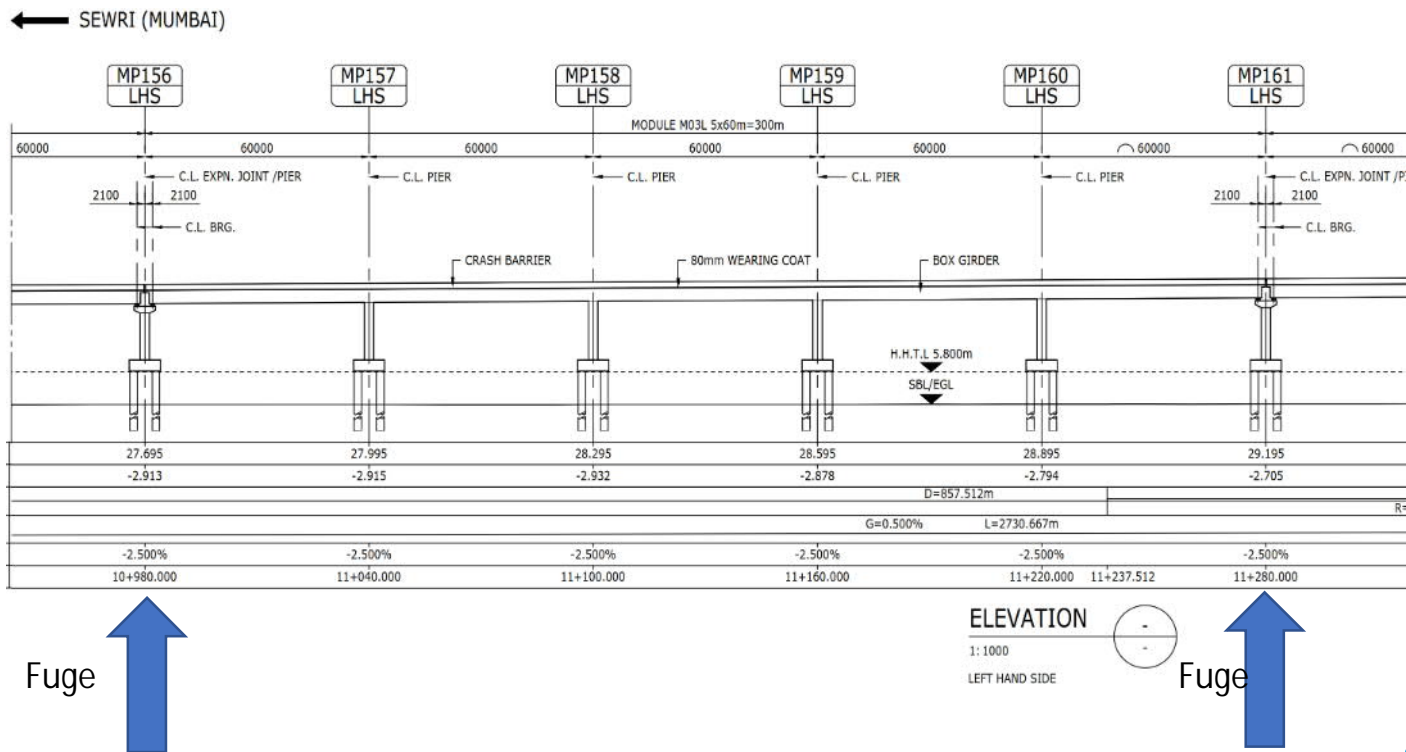
Vi opnåede en tilstand hvor de normale lastkombinationer og de seismiske laster gav ca. samme påvirkning.



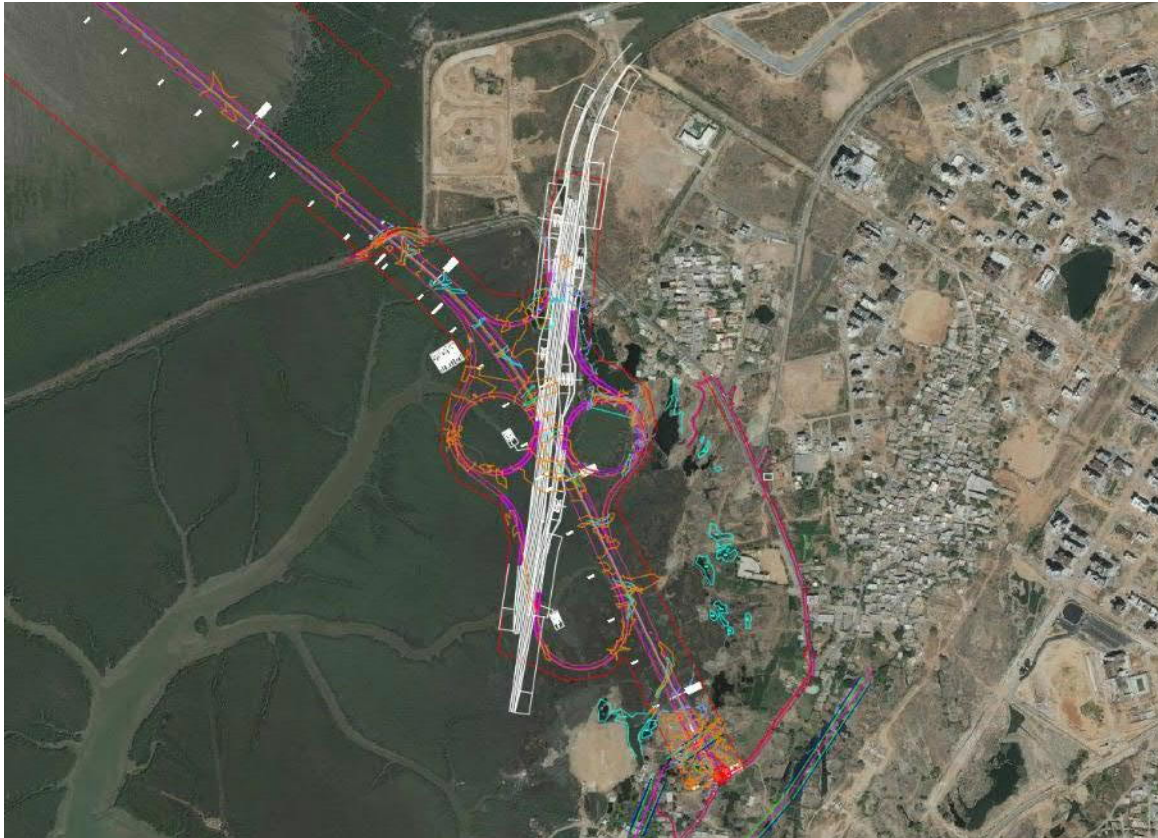
Mumbai 44m/s, DK 24m/s (27m/s ved Vestkysten) Forkastningszone lige ved Mumbai



Moduler af 5 fag af 60m. 300m mellem ekspansionsfugerne. I alt ca. 70 moduler



Tilslutningsanlægget  
Mangrove og marsk



# 2 km bro bygget fra midlertidig adgangsvej

Arbejdsplads og adgangsvej på samme tid.

Adgangsforhold og logistik

Ca. 40 permanente understøtninger langs vejen.

Arbejdsplatforme ved alle stød

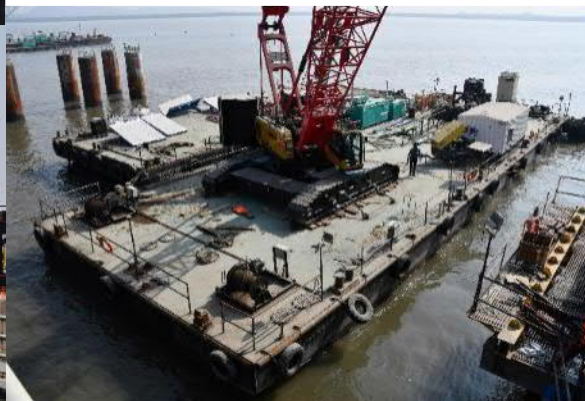




# 8 km bro bygget med marine arbejder



"Flådehavn" for enden af adgangsbroen.  
Alt materiel og materiale til underbygningen sejles ud herfra.

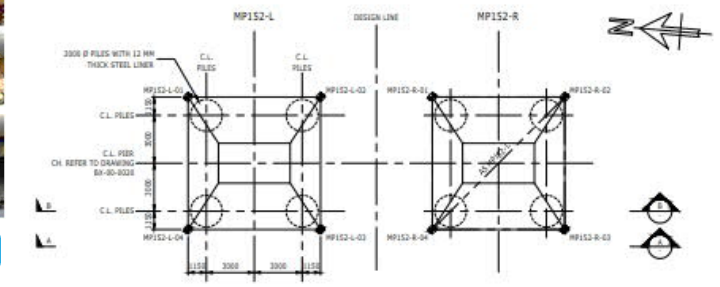
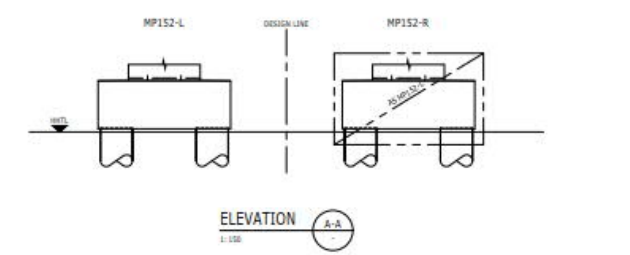
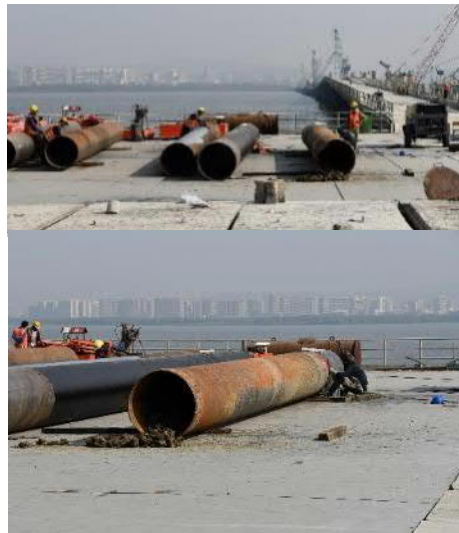
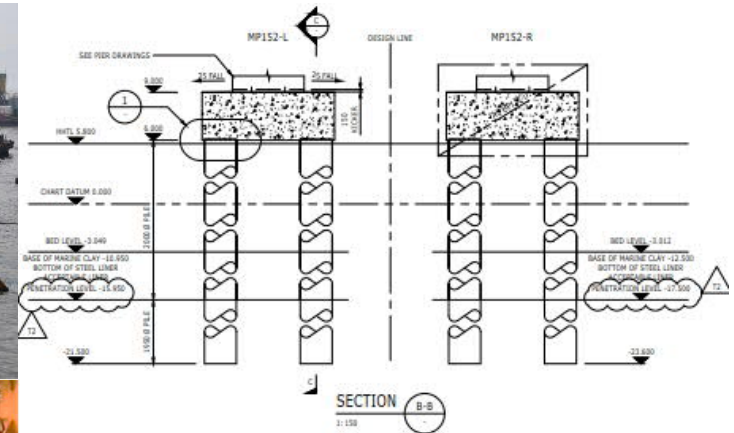


# Fundering

Pæle boret i foringsrør ned til klippe  
Udstøbt med undervandsbeton

4 lodpæle under hver fundament.

Pælene er tværbelastede  
Ingen sidestøtte i dyndlaget

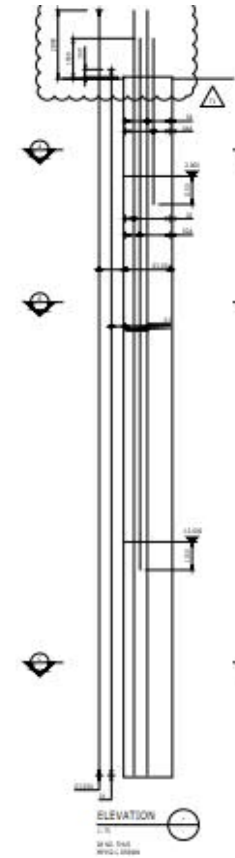
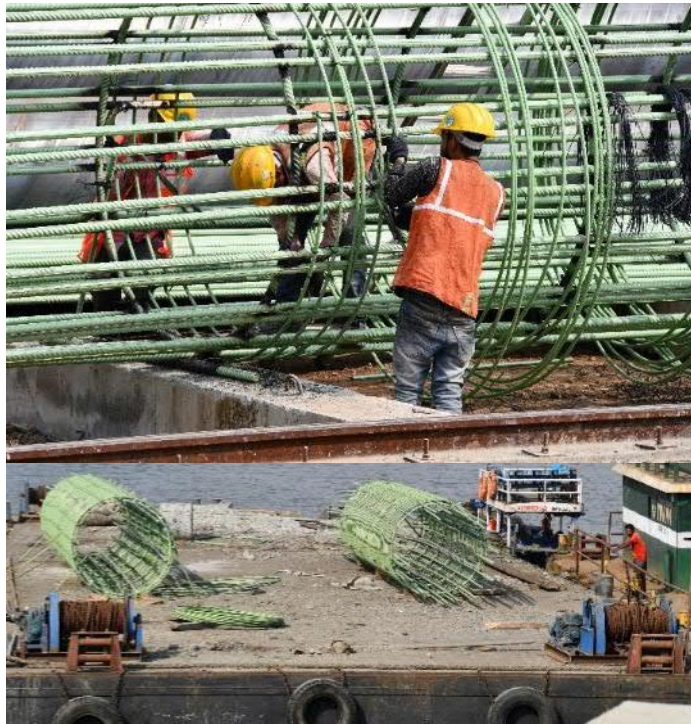


# Traditionelt armeret

Pælene er bøjnings- træk og forskydningsarmerede.

Varmt, fugtigt og kloridholdigt miljø

Armering i underbygning og pæle epoxycoated



SECTION 1-1



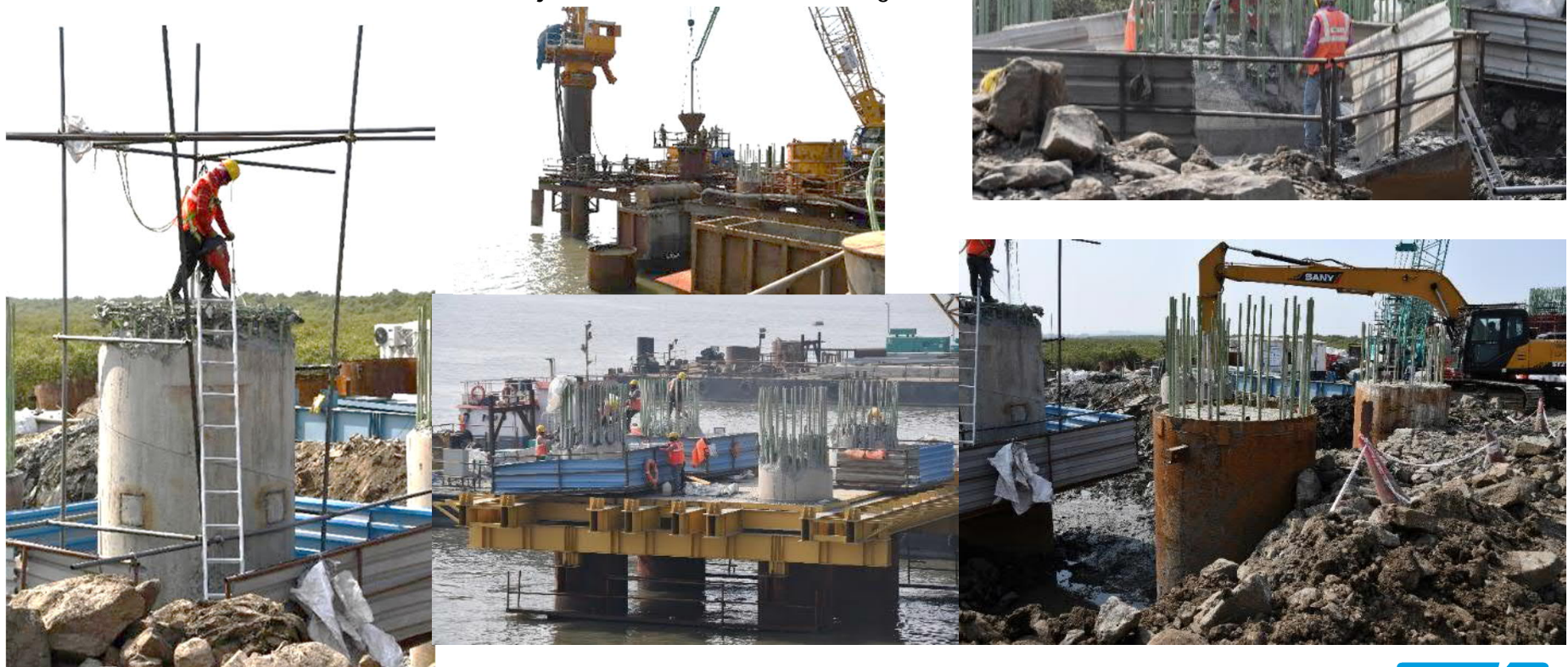
SECTION 2-2



SECTION 3-3

# Efterbehandling af pæletop

Øverste 1,0m undervandsbeton skal fjernes inden næste støbning



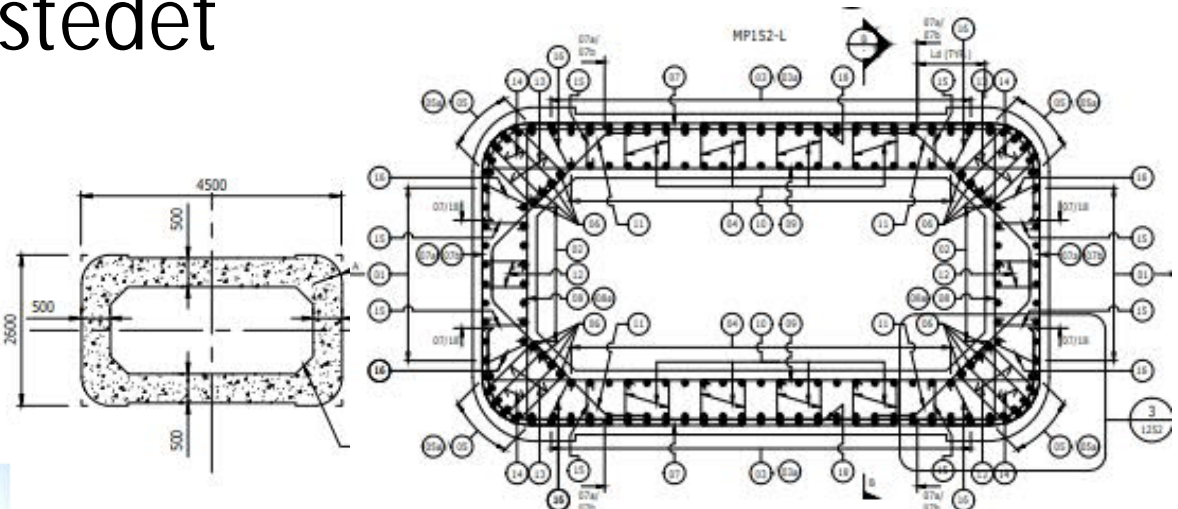
# Fundamenter støbt på stedet



Form understøttet på pæle



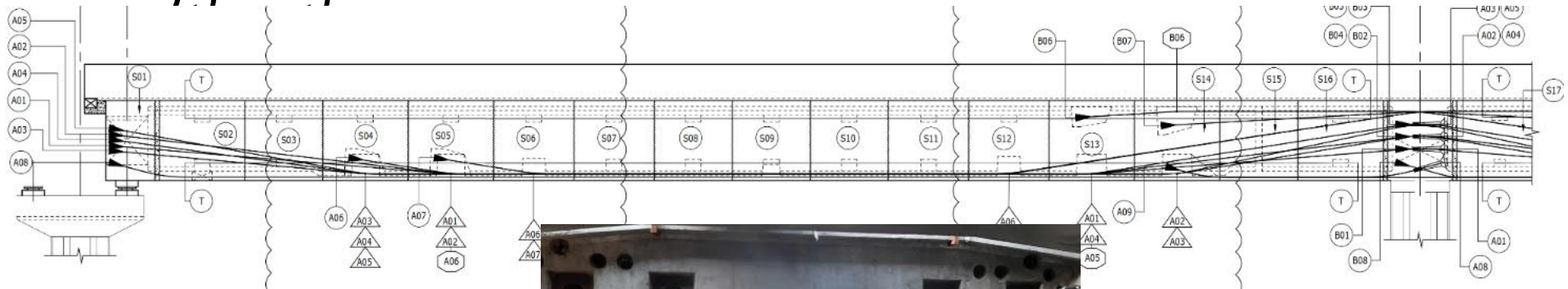
# Pilleskafter støbt på stedet



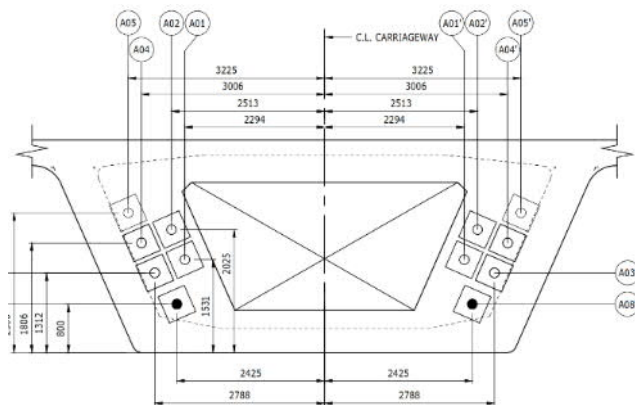
# Overbygning

Præfabrikerede segmenter

Ekstern forspænding



Længdesnit i yderfag

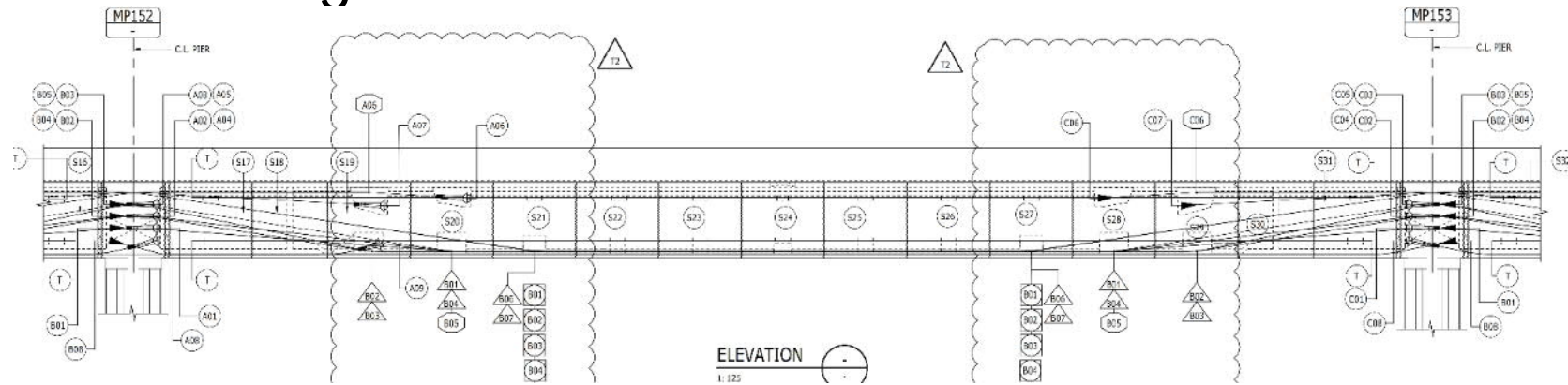


Tværsnit ved ekspansionsfuge



Fuldt forspændt for alle brugsgrensetilstande  
Alle fuger skal være lukkede  
Ved brudgrensetilstande og seismiske laster skal broen stadig opføre sig elastisk, men fugerne må åbne sig  
Ingen løft i pælene var tilladt.  
Gør at overbygningen bør være så let som muligt.

# Mellemfag



Med montagedrager monteres ét helt fag ad gangen.

Faget opspændes delvist, så det er selvbærende og kan bære last fra trolley ved transport af elementer til næste fag





# Elementer

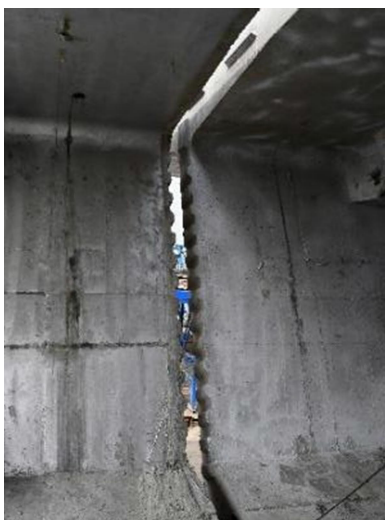
- Samlebånd
- Armeringsnet
- Hydrauliske forme
- Støbning
- Afforskalling
- Hærdning
- Lagring og færdighærdning



# Produktionsplads



# Fuger match cast, epoxy limet



Fortandet støbeskel  
Nødvendigt tandareal sætter  
grænse for hvor spinkelt et  
tværsnit der kan udføres



# Pierhoved ved kontinuitetsfag

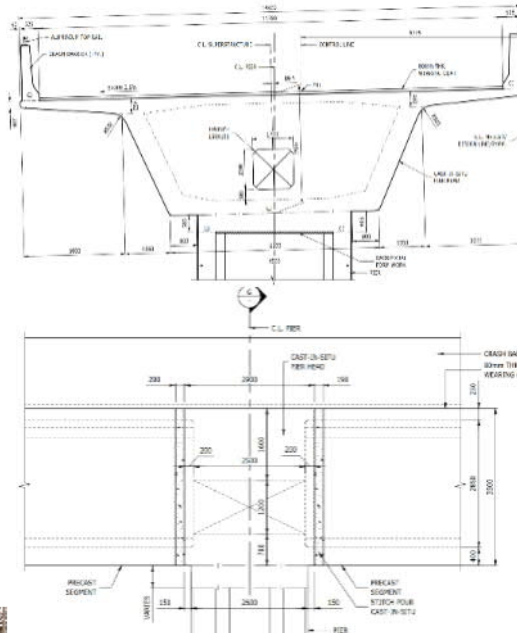
Tæt armering

Sammenløb af armering fra søjler og overbygninger

Spaltearmering for kabler og kabel overlap

Armering som følge af kun delvis opspænding af det ene fag.

Mandehul for gennemgang.



RAMBOLL



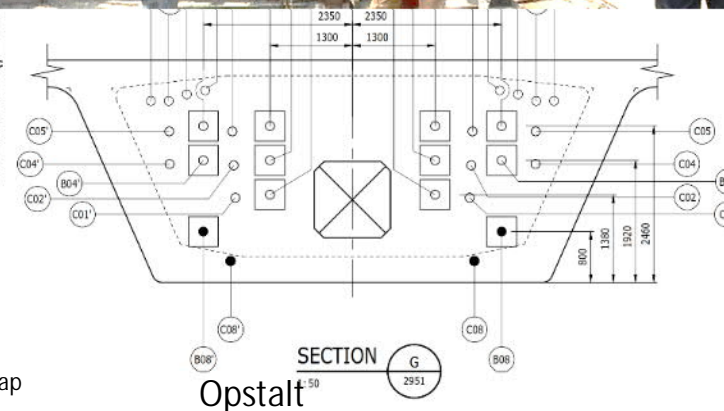
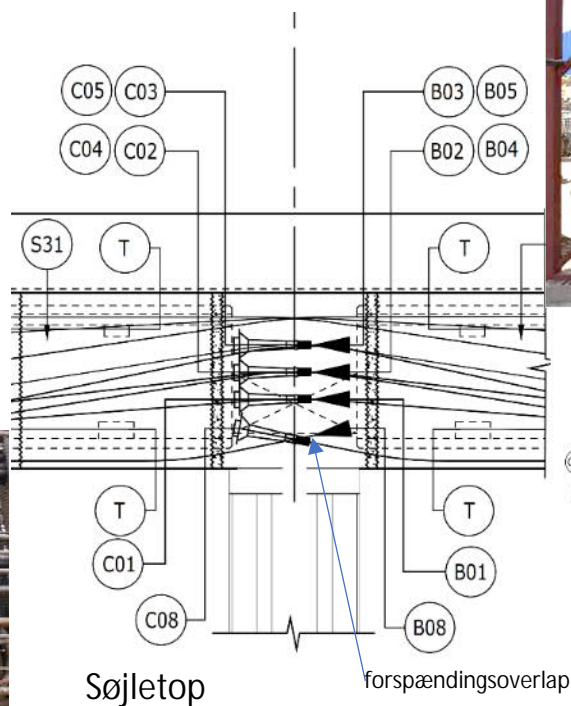
CMN2

# Forspænding overlappings stød

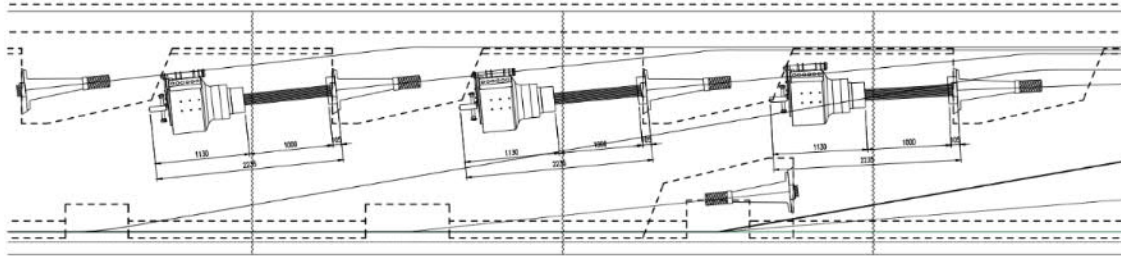
I den færdige konstruktion er der nogenlunde vandret ligevægt for kablekræfter i tværsnittet.

I byggefasen er der uligevægt i kablekræfterne og dermed kraftig tværbøjning i skot og bøjning i søjlen.

Armering i skottet er kraftig, som følge af kun delvis opspænding af det ene fag.



# Ekstern forspænding



- Kabler er ikke indstøbt i betonen.
- Store ankerblokke, da kraften ikke føres direkte ind i tværsnittet
- Pladsbehov for donkrafte, blister og øvrige kabler må ikke være i vejen
- Ankerblokke og deviators bidrager voldsomt til elementvægten
- Begrænsninger på maksimal håndterbar kabellængde styrer antallet af blister
- Manglende samvirke med beton, hvorfor der suppleres med intern forspænding i det omfang det er muligt indenfor det minimerede betontværsnit.



- Hvad opnås:
- Mindre betontværsnit
- Billigere kabler
- Kabler kan udskiftes



# Projekteringen er udført med ca. 99% indisk arbejdskraft

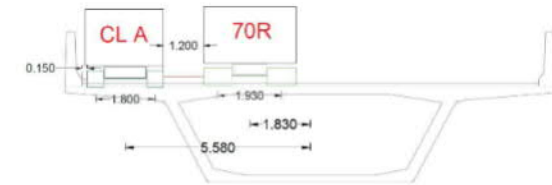
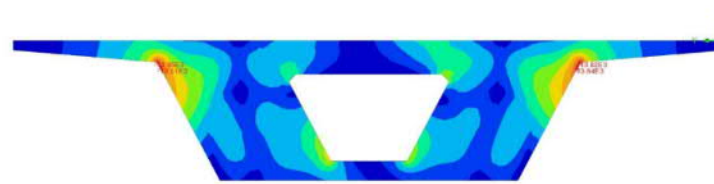
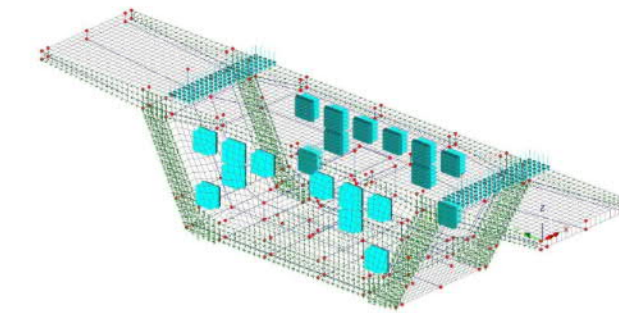
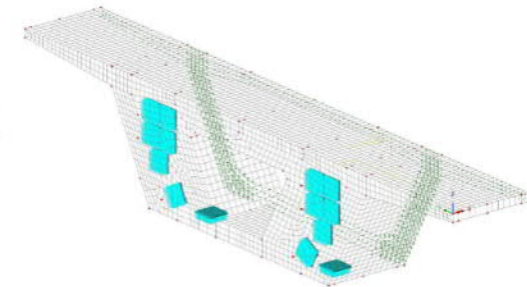


Figure 7: Live Load Class A + 70R(W)



Produktionen tilsvarende indisk  
Slut for del 1 af præsentationen






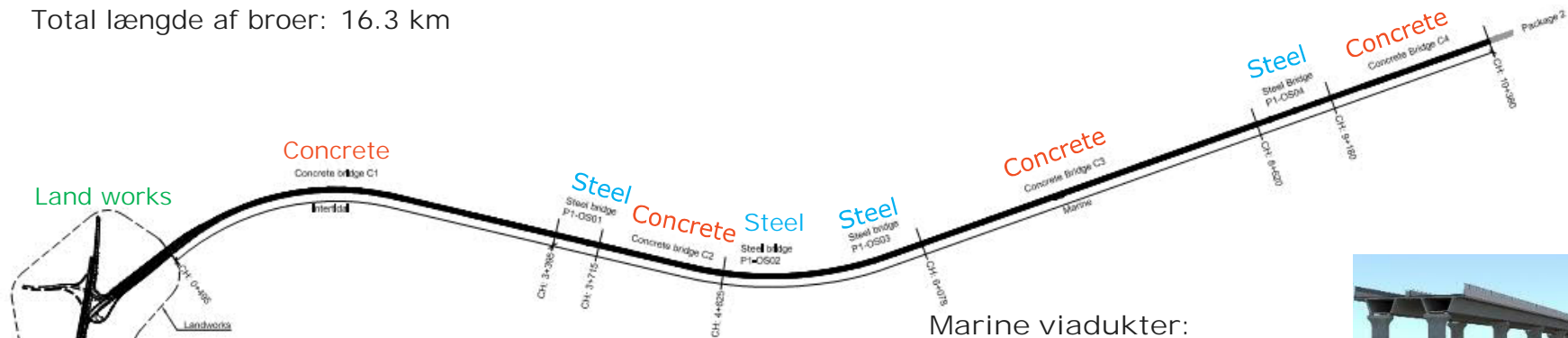
# Mumbai Trans Harbour Link – Pakke 1



# Mumbai Trans Harbour Link - Pakke 1

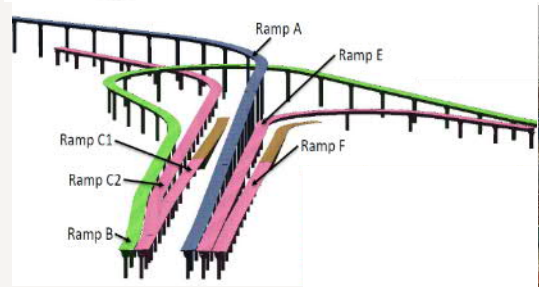
Entreprenør:  **IHI**

Total længde af broer: 16.3 km



Land works

Land Works:  
6.5 km – betonramper  
(spænd på 20 til 46 m)

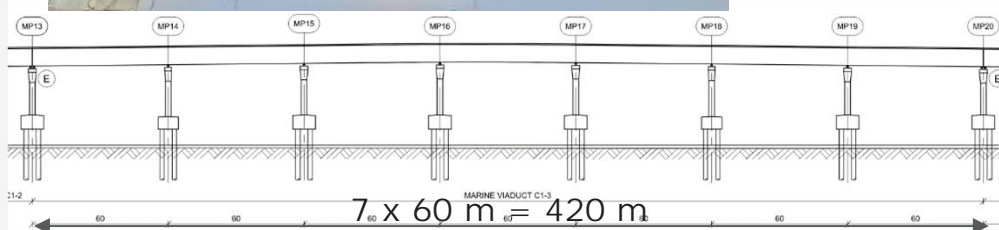


- Marine viadukter:
- 7.5 km Marine betondragere (60 m spans, prefabrikerede kassedragere)
  - 2.3 km stålbroer (spænd på 85 til 180 m)



**COWI**

# Betonbroer - overbygning

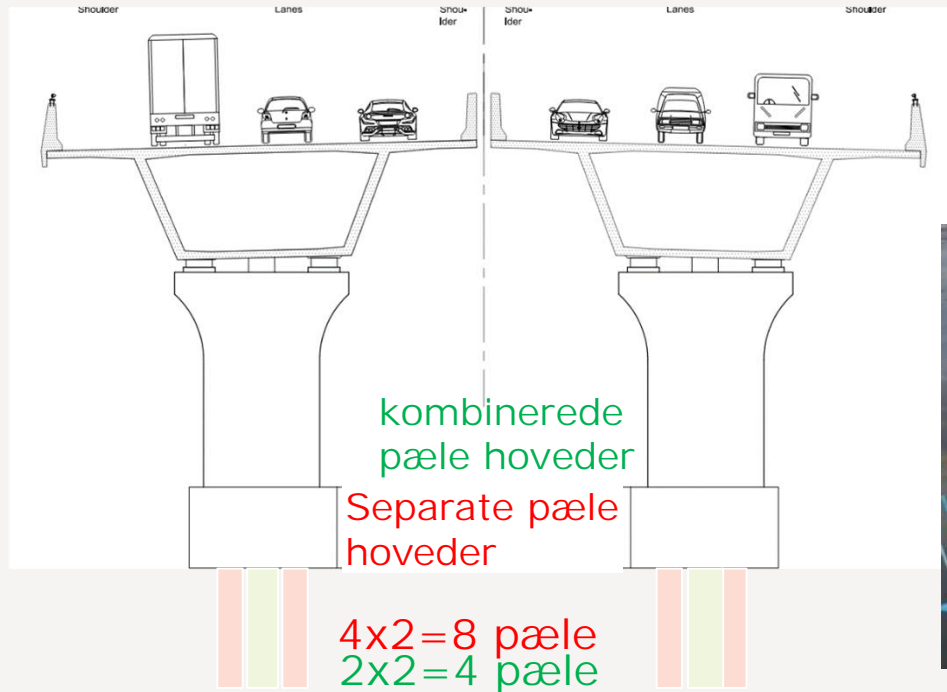


27 | 7 SEPTEMBER 2021  
MUMBAI TRANS HARBOUR LINK - PAKKE 1

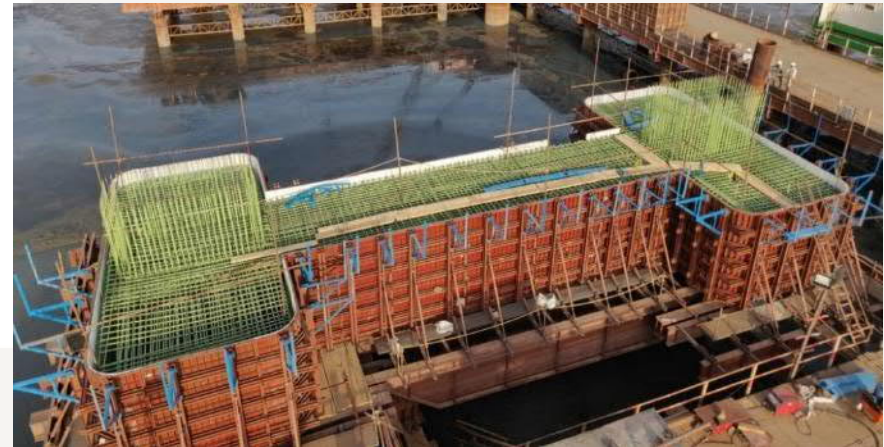
Præfabrikerede betonelementer  
Ca. 7000 stk. fabrikeres for Pakke 1.



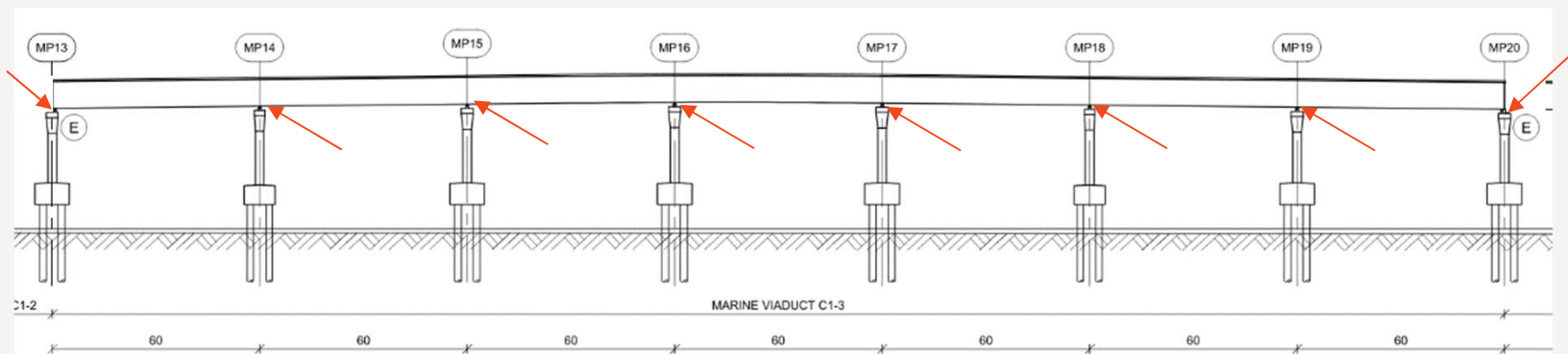
# Betonbroer - underbygning



Kombineret "dogbone" pæle hoved med 4 pæle



## Jordskælv og understøtning af betondrager



Understøtningsforhold:

- > "Stiv": monolitisk forbindelse imellem pier og drager eller pot lejer
- > "Flydende": elastomer lejer på alle piers

# Understøtningsforhold for ekspansionsafsnit



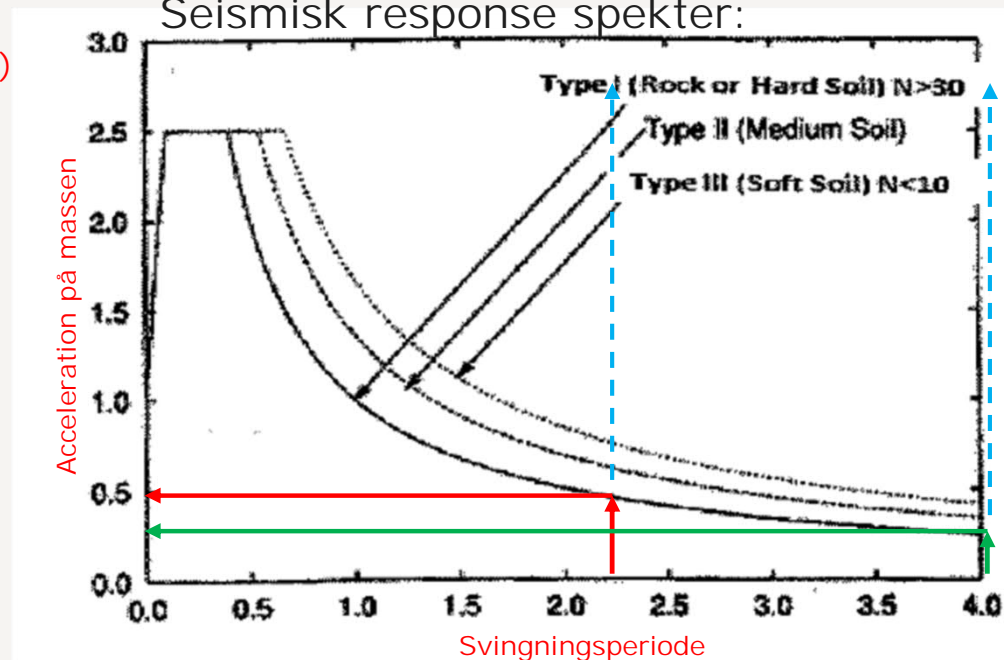
8 pæle Ø2m



4 pæle Ø2.2m

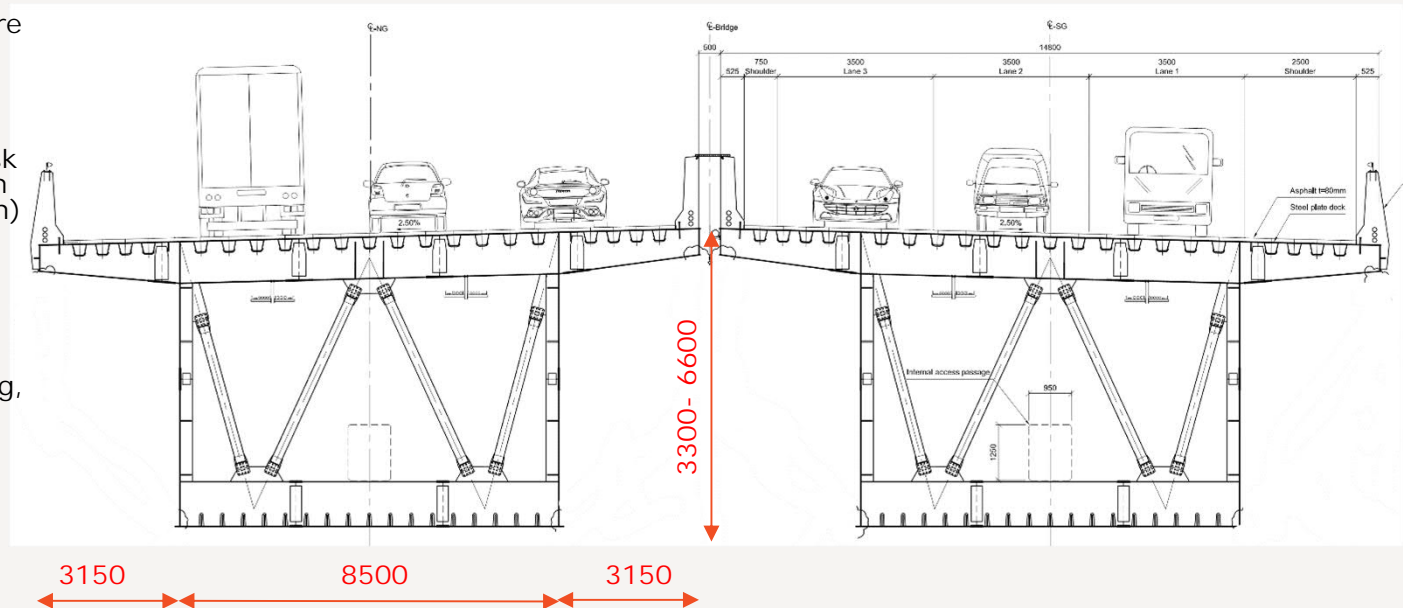
1. "Stiv"  
(monolitisk eller pot lejer)
2. "Flydende"  
(elastomer lejer)

Seismisk response spekter:

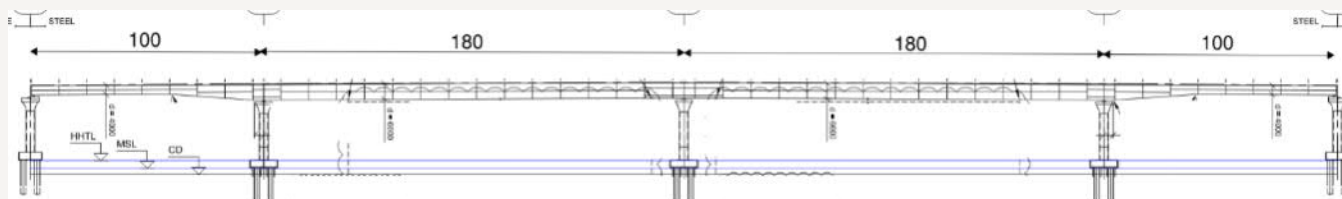
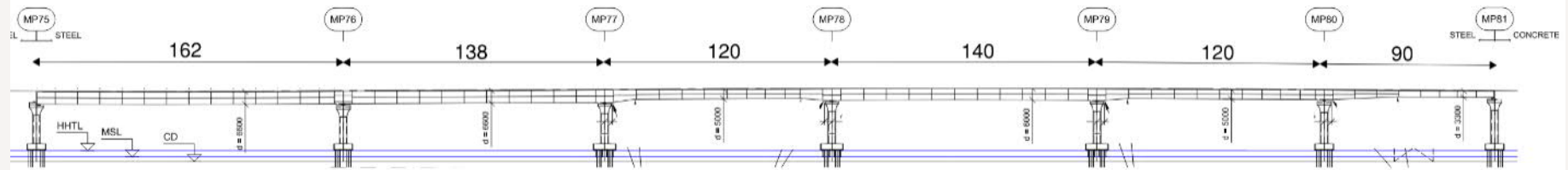
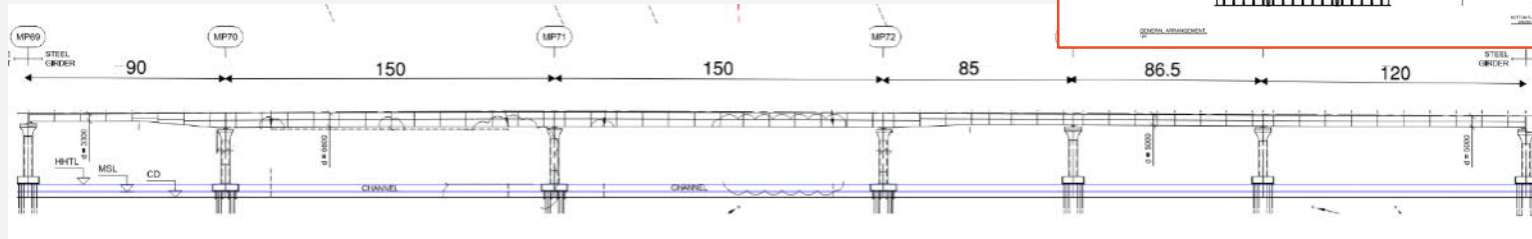
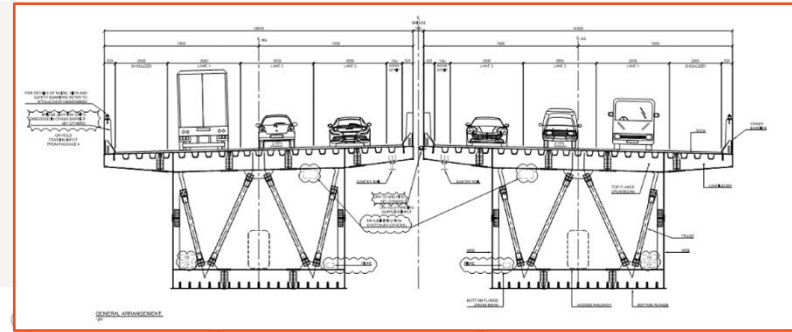
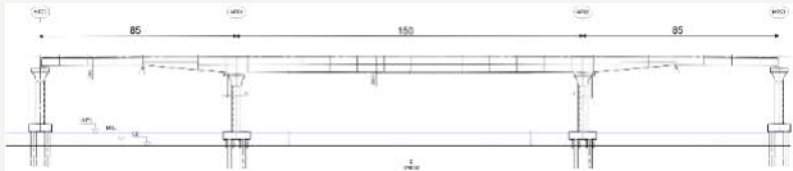


# Stålbroer - generelt

- > To symmetriske kassedrager med hver 3 vejbaner
- > Orthotrops ståldæk (første gang i Indien)
- > Design ud fra et mix af indisk norm (last) og japansk norm (eftervisning og specifikation)
- > Variabel dragerhøjde
- > Last fra trafik, egenvægt og superimposed dead weight similar
- > Kasser klargjort til affugtning, men males indvendig



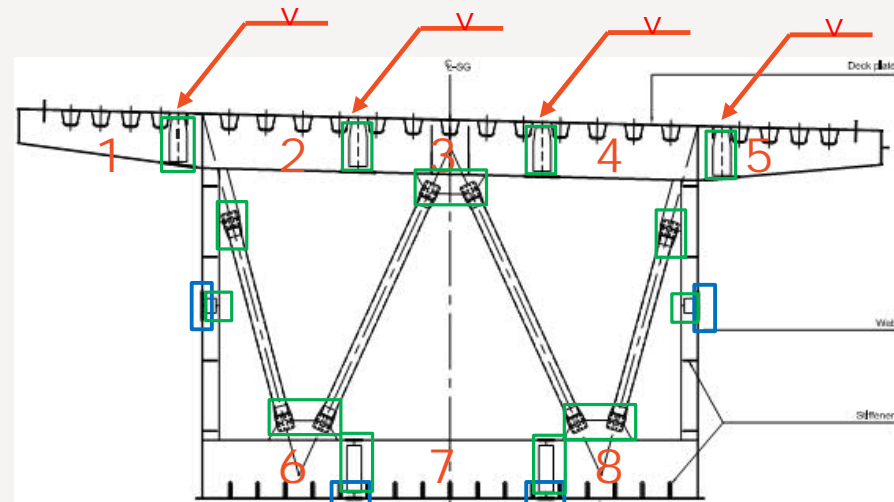
# Stålbroer – konfiguration





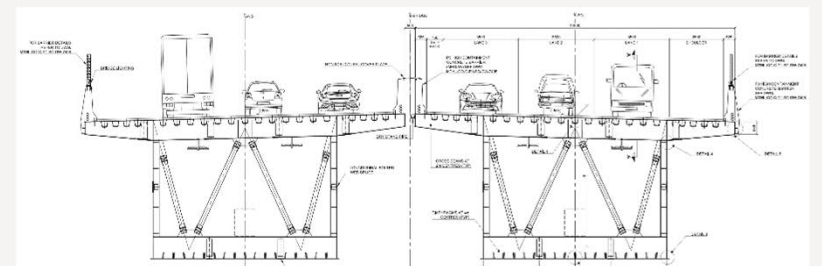
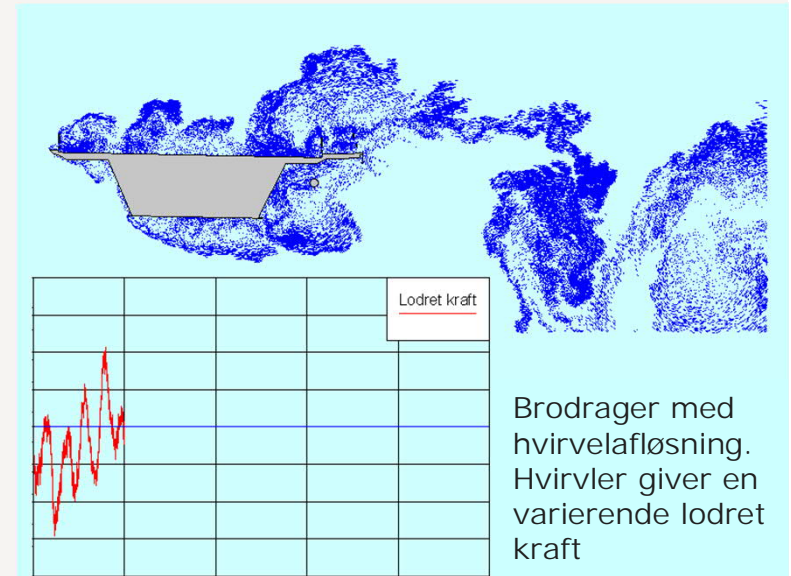
# Stålbroer -fabrikation

- > Fabrikation i Vietnam, Taiwan og Kina
- > Segment-blokke sendes med dimensioner på ca.  $L \times B \times H = 12 \times 3.3 \times 3.3$  m og samles i Indien på byggepladsen i 12 m segmenter betående af 5 eller 8 blokke.
- > Med 408 segmenter giver det 3200 blokke der afsendes i containere
- > Boltesamlinger er friktionssamlinger og der anvendes ca. 3 millioner bolte



## Vind stabilitet

- > Vind stabilitet kritisk pga.:
  - > Lange spænd
  - > Dragere med høje vertikale sider og barrierer – ikke aerodynamisk
  - > To uafhængige dragere
    - > vind tunnel forsøg nødvendig
- > Vind stabilitet eftervisninger:
  - > Styrke/stabilitet:
    - > Galloping – tab af dæmpning kan medføre kollaps. Vindhastigheder op til 57 m/s
    - > Hvirvelafløsning – kan medføre overudnyttelser
  - > Komfort:
    - > Hvirvelafløsning – vertikale bevægelser ved vindhastigheder op til 27 m/s.  
For store bevægelser ville kræve lukning af bro



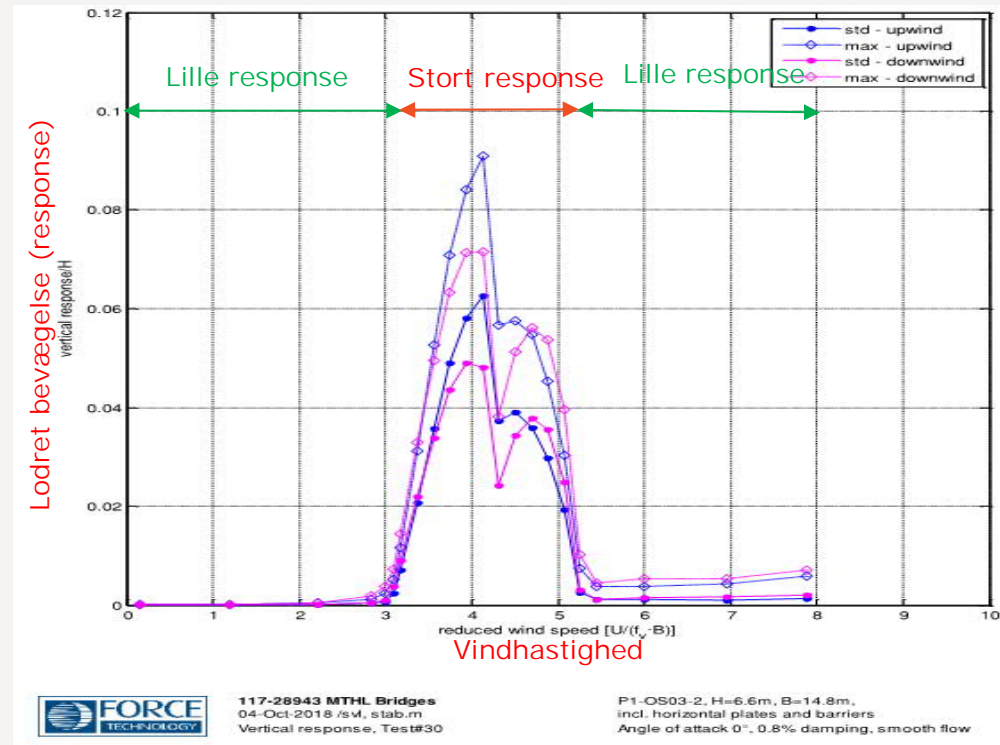
## Vindtunnel forsøg

- › Vindtunnel forsøg hos Force i Lyngby. Formål:
  - › Eftervisning af vindstabilitet
  - › Formfaktorer for vindlast
- › "Section model" bestående af to uafhængige dragere med passende understøtningsforhold og geometri
- › Mange parametre: spændvidder, dragerhøjder, typer af rækværk ovenpå betonbarrieren, forskellige afhjælpingsmetoder
- › 88 vindtunnel forsøg



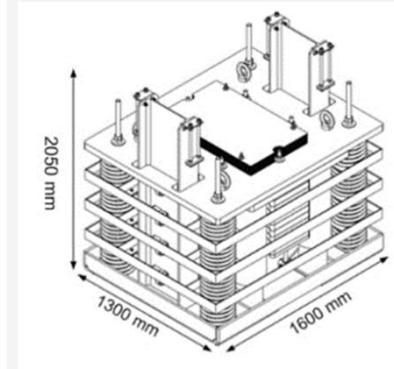
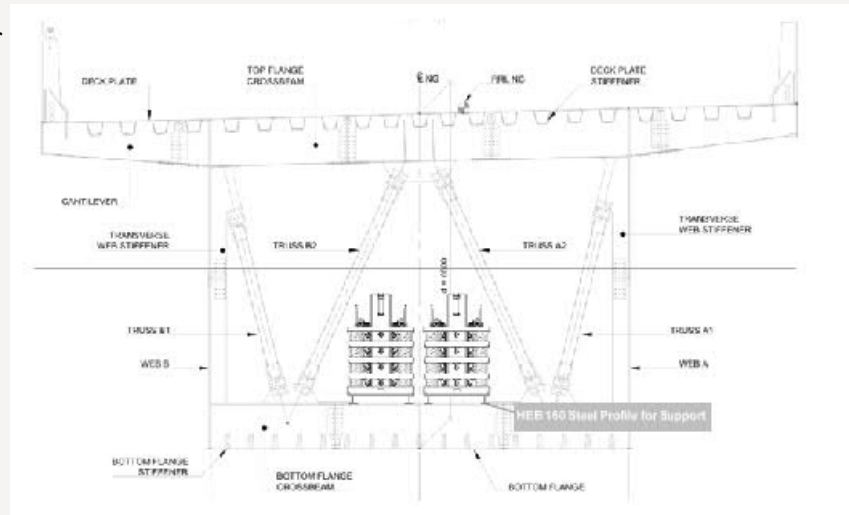
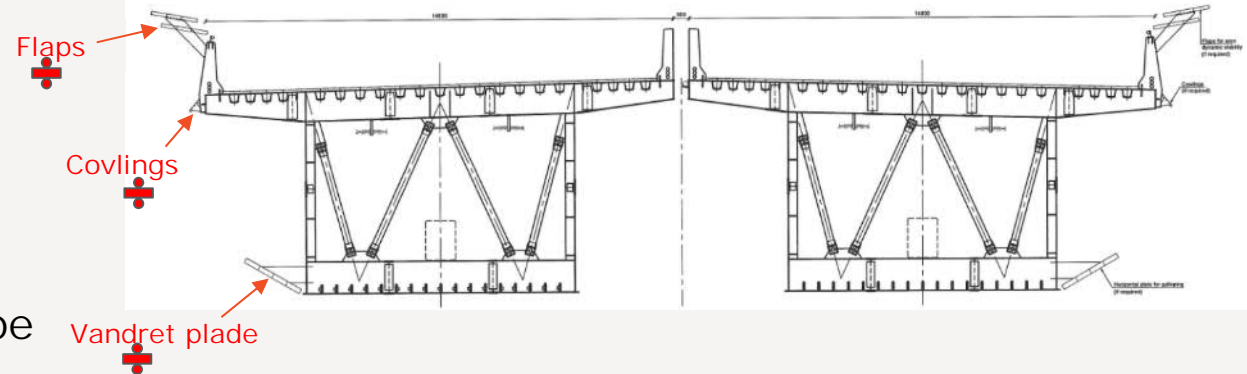
# Vind tunnel forsøg

- > Resultater:
  - > For hver brodrager (blå og lilla kurver) laves plot af bevægelse (response) som funktion af vind hastighed
- > Typisk kurve:
  - > Lille response ved lav og høj vindhastighed
  - > Stort response ved specifikt interval for vindhastighed
- > Det tjekkes om amplituderne er acceptable i forholdt til komfort og styrke



## Vindstabilitet - afhjælpning

- > 108 tuned mass damper specificeret for at afhjælpe hvirvelafløsning
- > Vægt på ca. 5 ton hver



# Stålbroer



2021-2-17 15:56

## Tak for opmærksomheden



Arkitektonisk idé: "pælar på en snor"

