

Reparation af
overbygningen på
Thorstedvej efter
påkørsel

SYSTRA Danmark

SYSTRA



Dagsorden

- Præsentation af oplægsholdere
- Projektets opstart og forløb
- Thorstedvej – Teknisk løsning
- Q&A

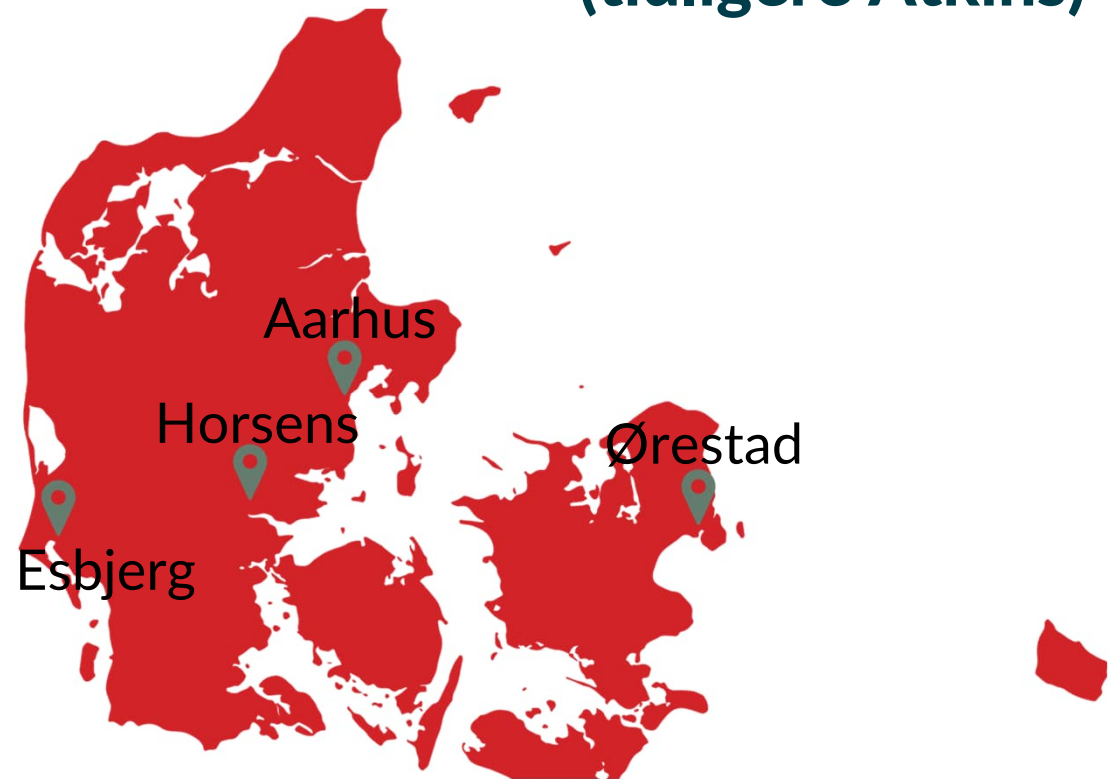


Julie Bernth
Civilingeniør, Kon.
Afdelingschef



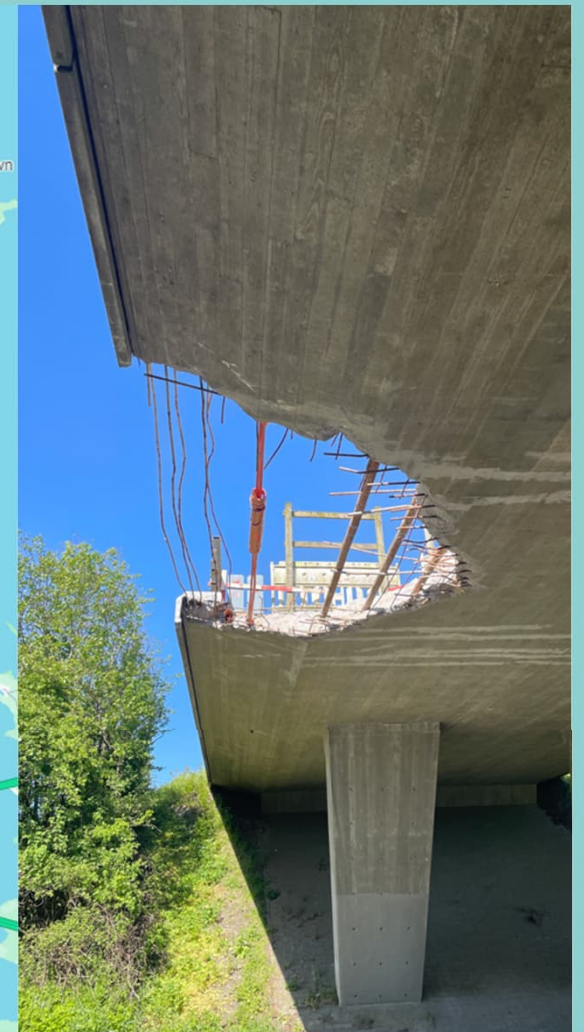
Mads Hovgaard
Civilingeniør, Kon.
Ph.D., Seniorspecialist

SYSTRA i Danmark (tidligere Atkins)



Thorstedvej

SYSTRA



Dansk Brodag 2025

Påkørsel af vejbro

- Særtransport med vindmøllenav ved 80km/t
- Nav kilet fast mellem bro og underført vej
- Gennemlokning af brodæk i et område på 7x5 m, ydre perimeter.
- Blotlægning af spændkabler

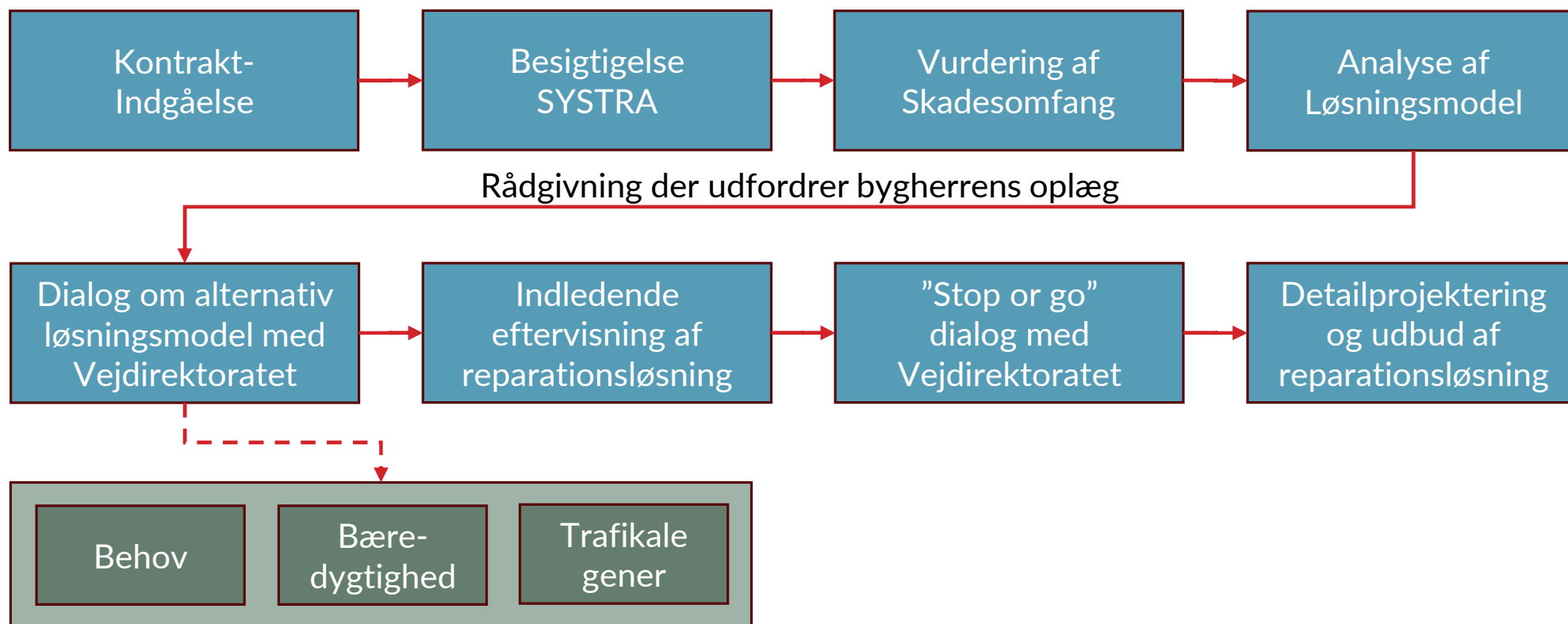


Vejdirektoratets udbud

- Skitse- og detailprojektering af ny bro
- Nedrivning og bortskaffelse af eksisterende bro
- Mulig genanvendelse af eksisterende fundamenter

Foto: Vejdirektoratet

Projektforløb



Udfordring af løsningsmodel

- Den overordnede gode tilstand af den øvrige konstruktion gav ideen om at overveje reparation.
- Overbevisning om, at omkostningerne, både økonomiske og i form af CO2, kunne reduceres betydeligt. Begge til potentielt stor værdi for kunden
- Med udbredt erfaring med efterspændte konstruktioner i bagagen, gik SYSTRA til møde med Vejdirektoratet.
- Simpel skitse af en reparationsstrategi, som præsentation for Vejdirektoratet
- Vejdirektoratet accepterede, og SYSTRA startede analysen



Besigtigelse SYSTRA

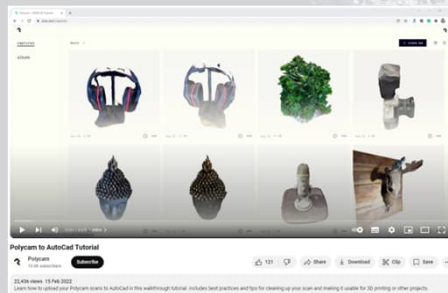
Stort skadesomfang kræver besøg og ofte genbesøg
Behov for registrering ifm. vurdering og kommunikation

- Billeder
- Scanning – Gennemgående overblik
- Målinger



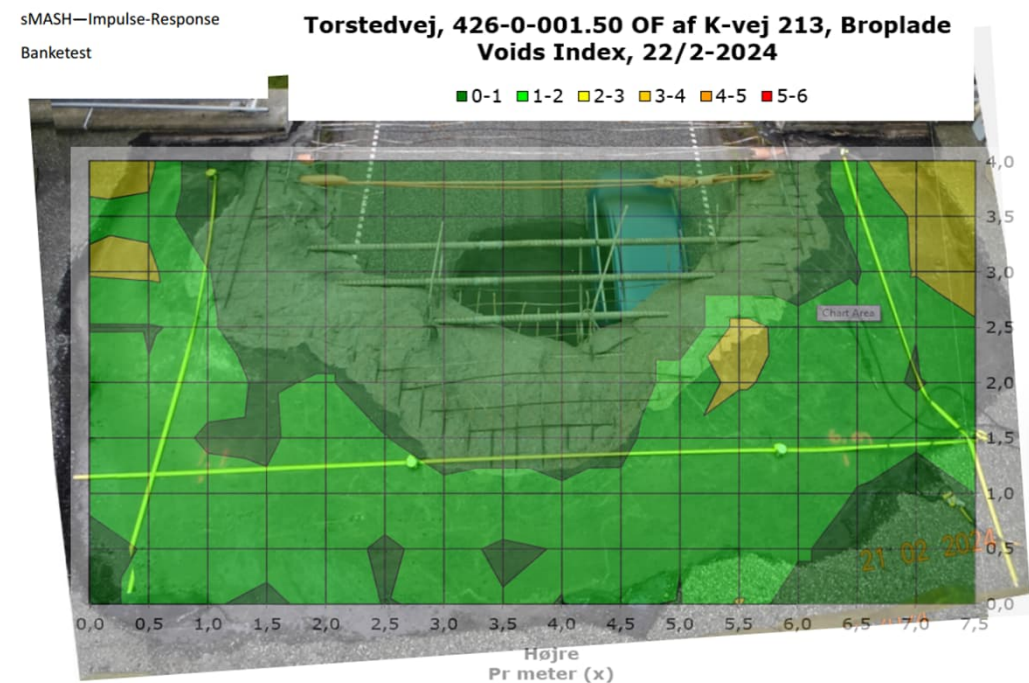
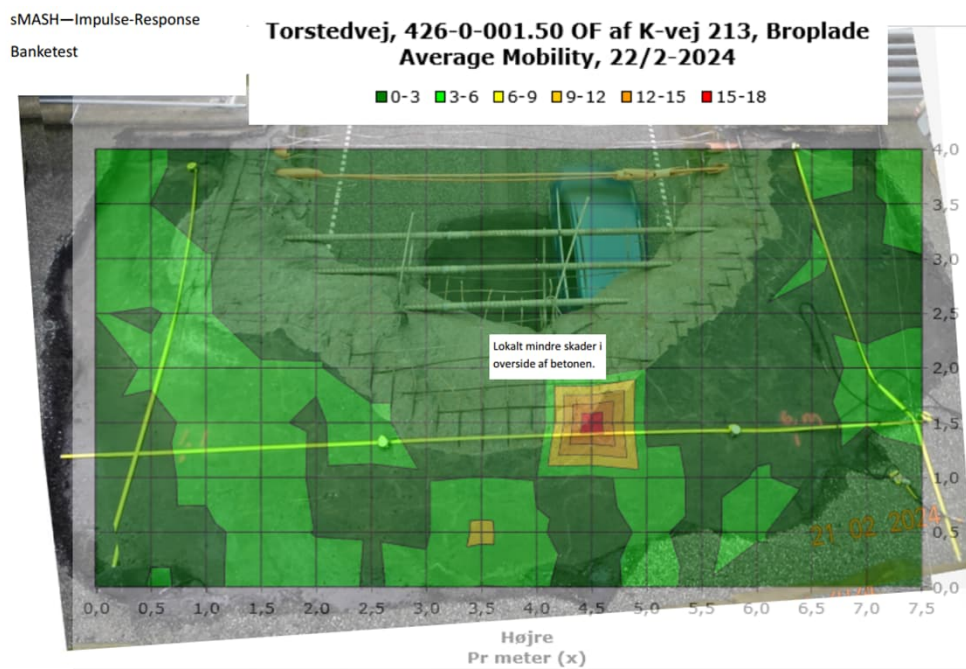
3D-scanning ved brug af nyere Iphone

- Selv fra en afstand af flere meter, er scanningen tilstrækkelig nøjagtig til at kunne fastlægge skadens geometri, placering af armering og spændkabler
- Punktskyen kan importeres i autocad
- Redskaber:
 - En nyere Iphone Pro.
 - LIDAR scannings app, f.eks. Polycam



Undersøgelser af konstruktionens tilstand

- Beskadiget og skruk beton blev fjernet
- Efterspændingskabler blev kontrolleret visuelt for skader
- Impulsrespons tests indikerer områder med skruk beton
- Udført af Vejdirektoratet



Revner på undersiden

Cirkulært revnemønster blev observeret på undersiden efter ulykken.

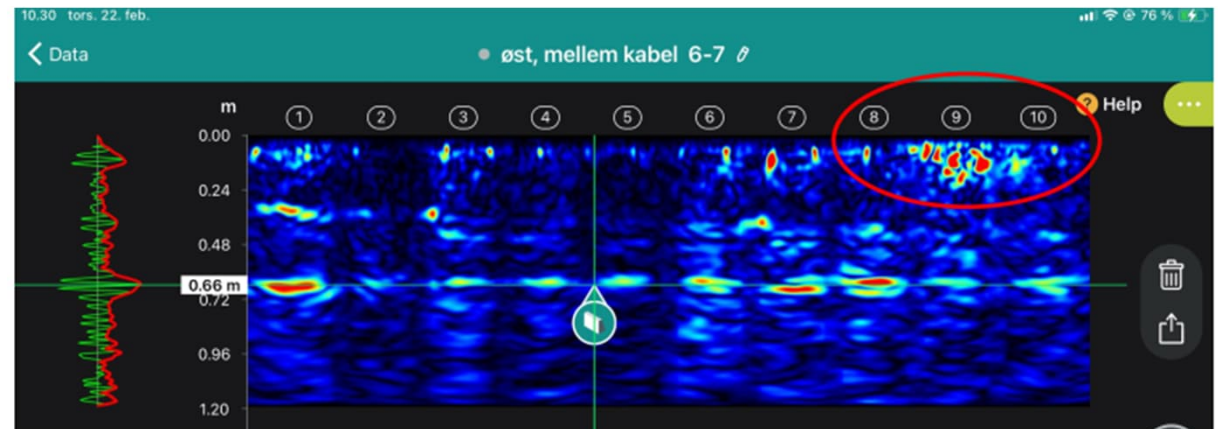
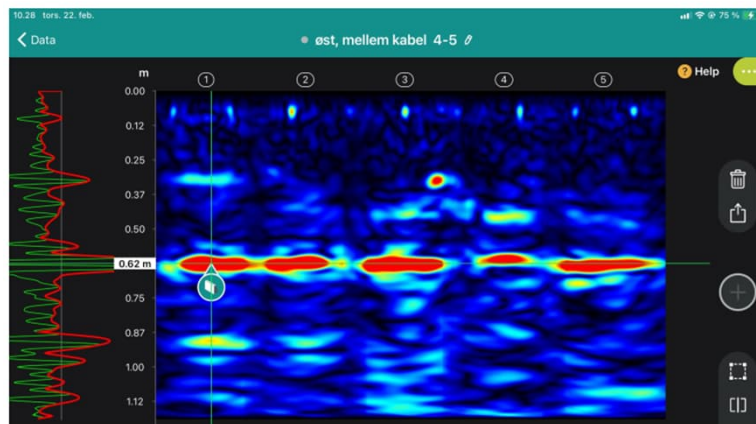
- Revnevidden blev målt til 0.08 mm og dybden til 30 mm.
- Ved besigtigelse d. 21.02.24 kunne revnerne ikke længere konstateres visuelt.



Foto: VD

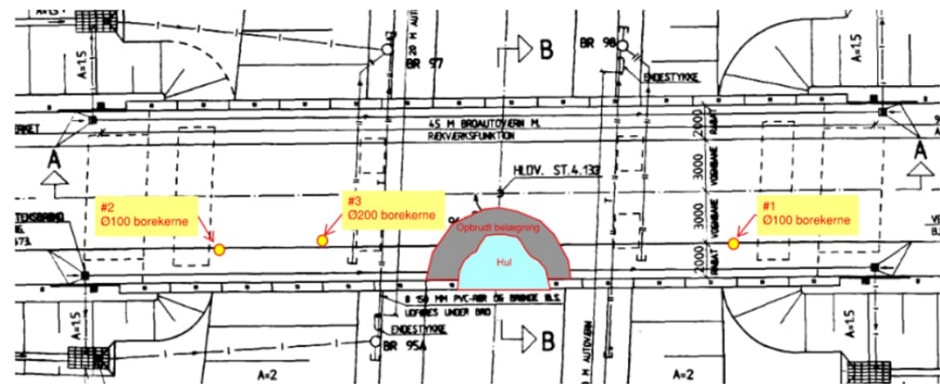
Undersøgelser af konstruktionens tilstand

- Tests med ultralyd viser betonens integritet i dybere lag
- Udført af Vejdirektoratet

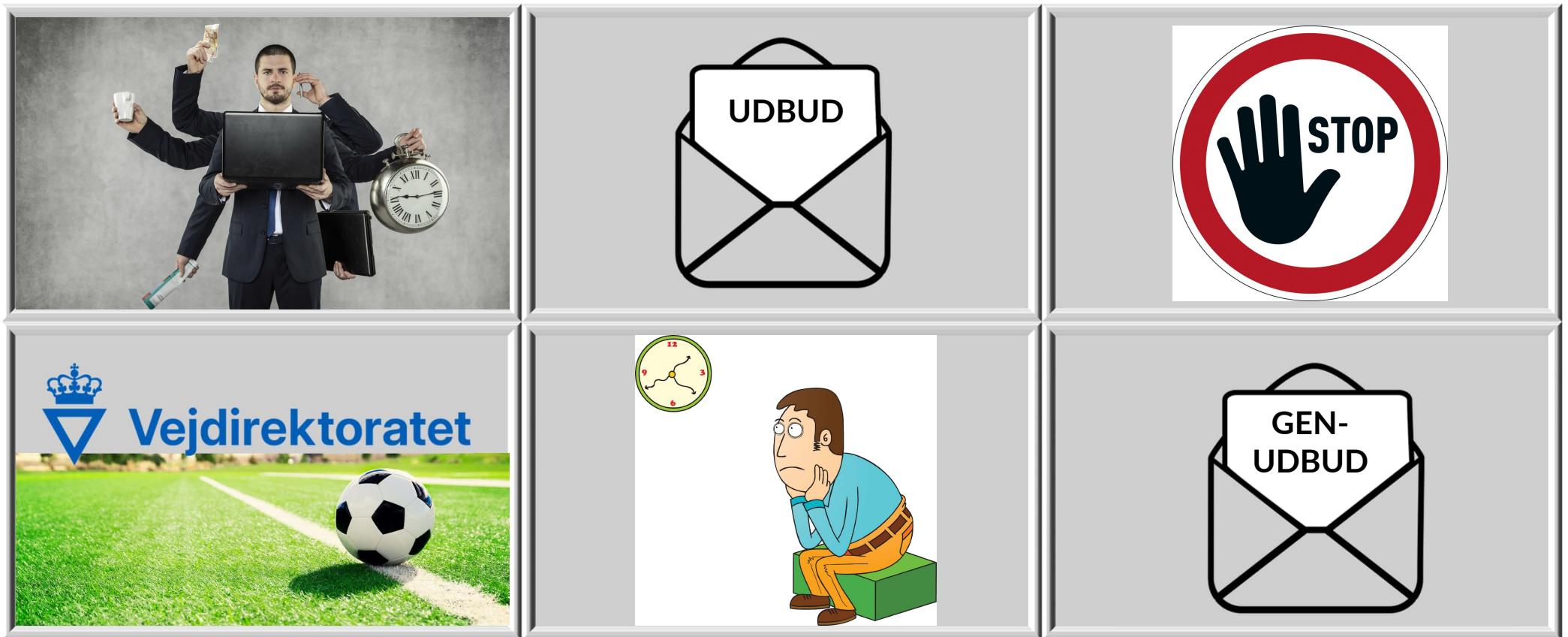


Undersøgelser af konstruktionens tilstand

- Belægning og fugtisolering på det resterende brodæk blev testet.
- Resultater:
 - Membranen viser ingen vedhæftning til betonen
 - Den manglende vedhæftning kan ikke tilskrives ulykken
 - Udover den manglende vedhæftning er membranen i god stand

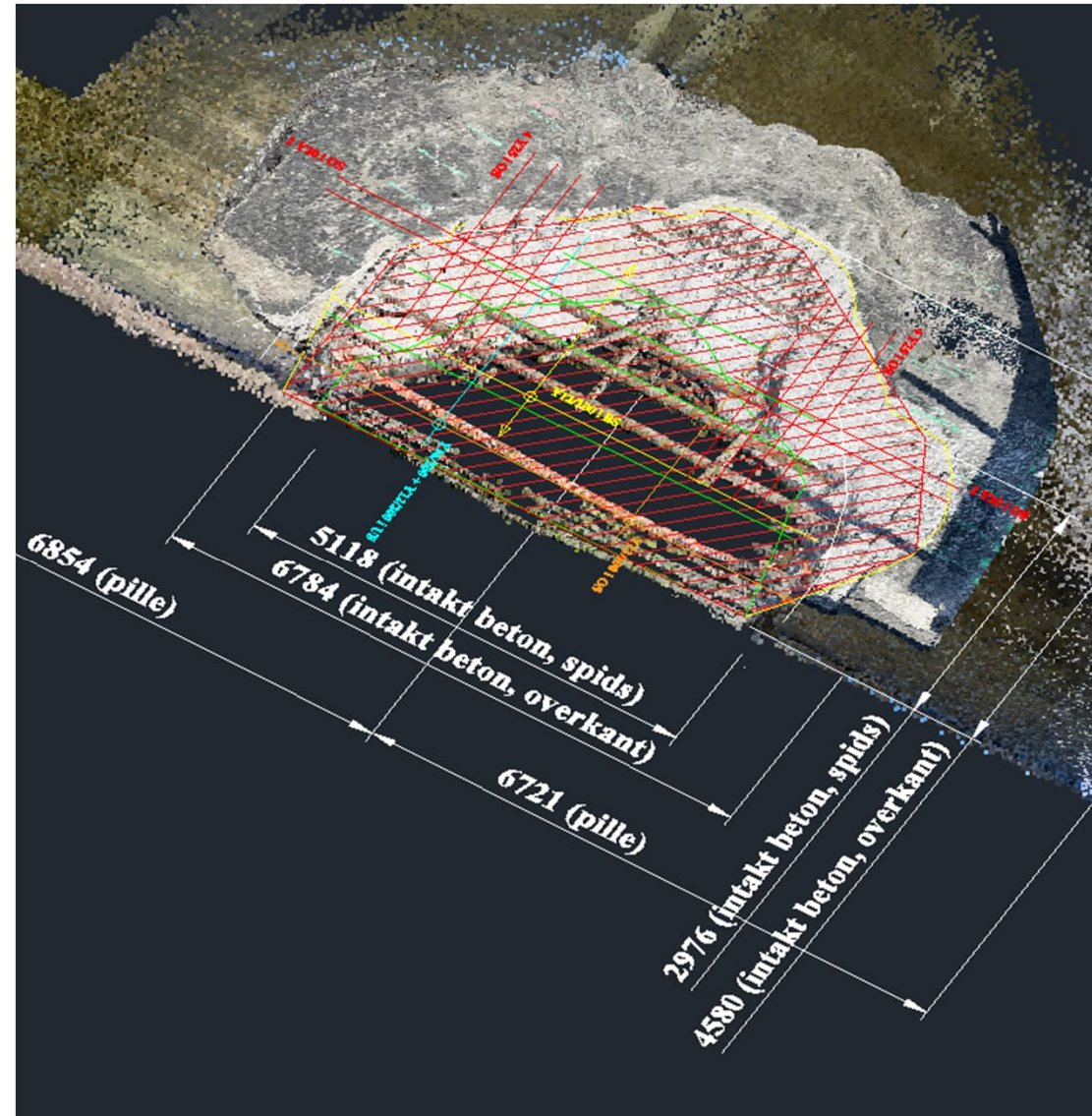
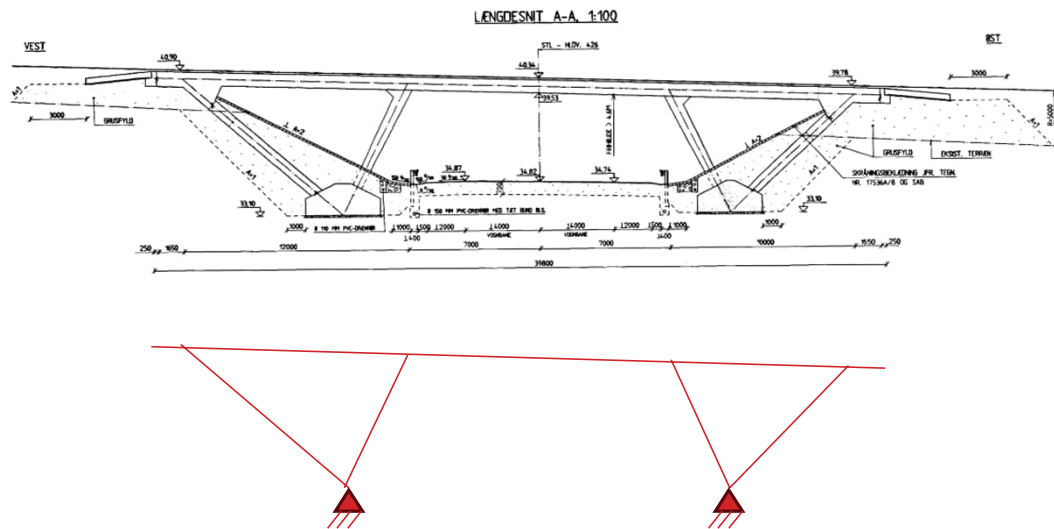


Projektstatus

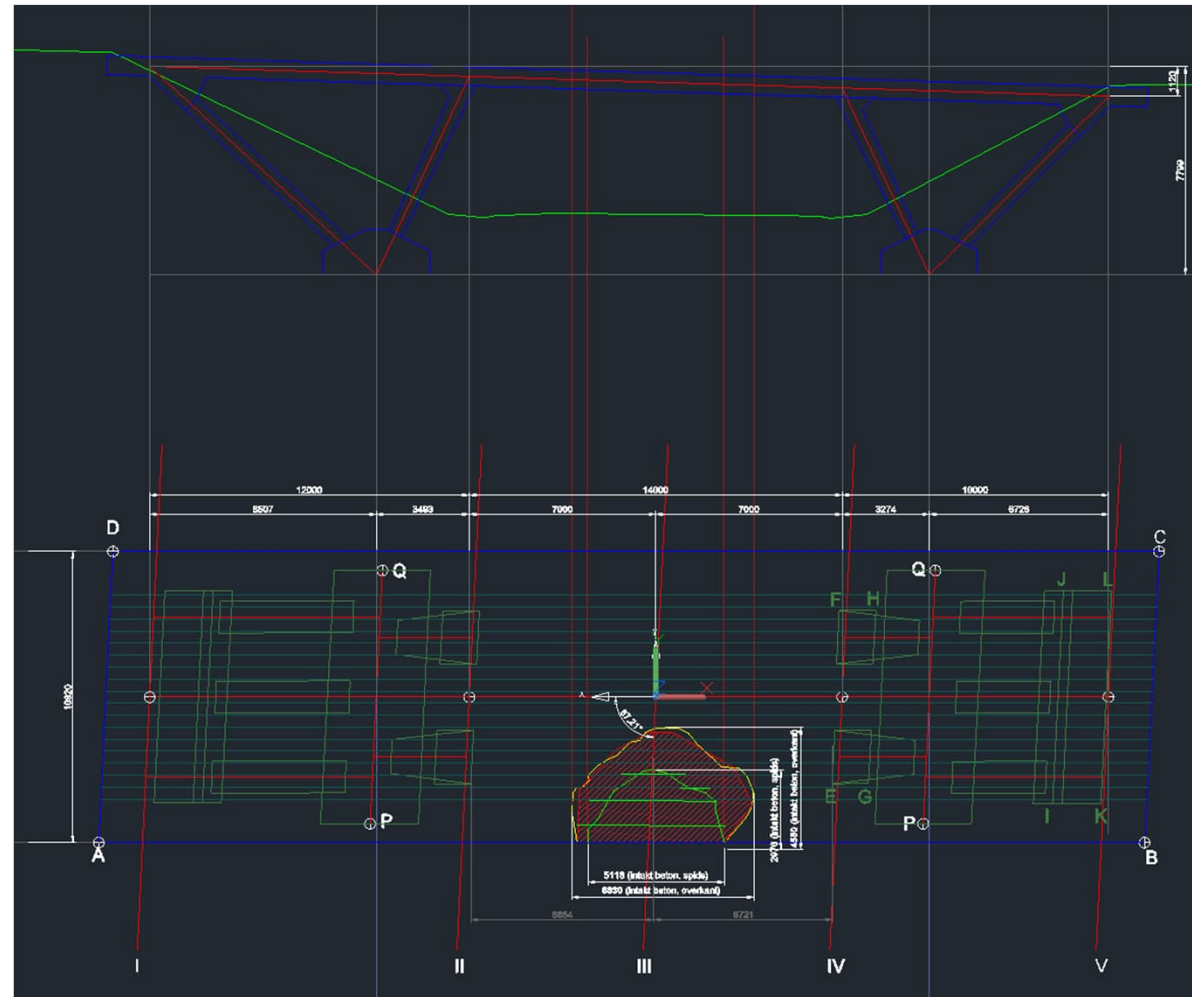


Sammenlægning af informationer i Autocad

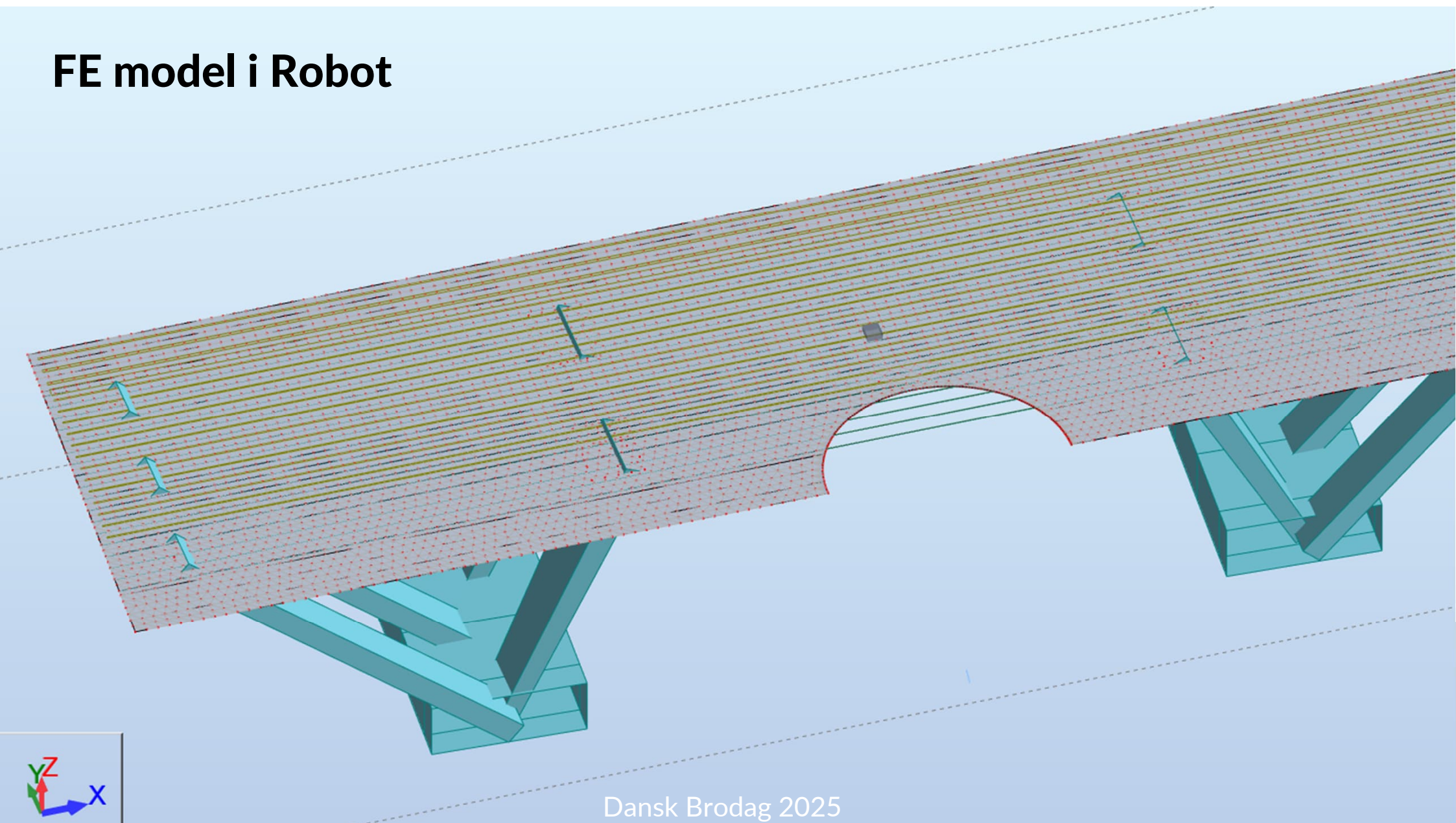
- Broen er opført i 1992.
- Efterspændt rammebensbro.
- I de oprindelige beregninger (COWI) er broen simplificeret til en bjælkemodel



Sammenlægning af informationer i Autocad

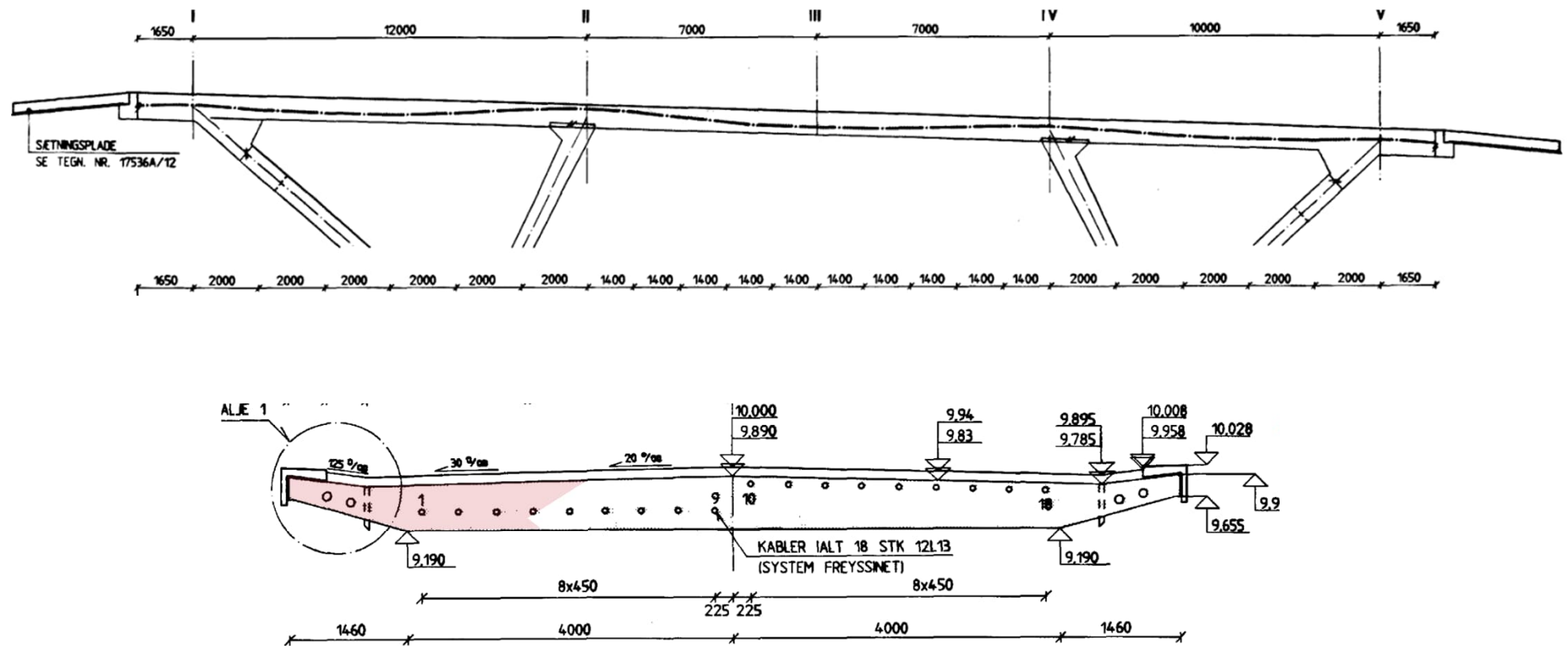


FE model i Robot

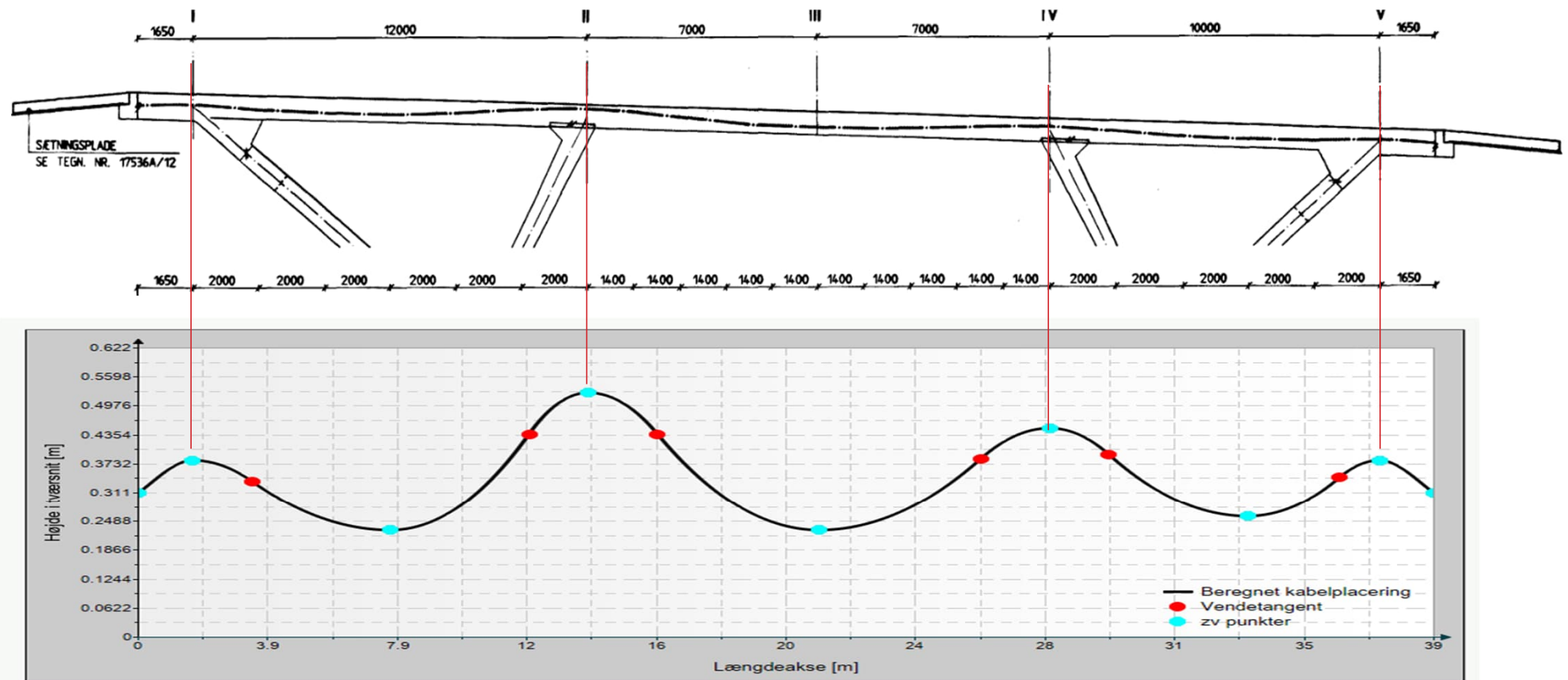


Dansk Brodag 2025

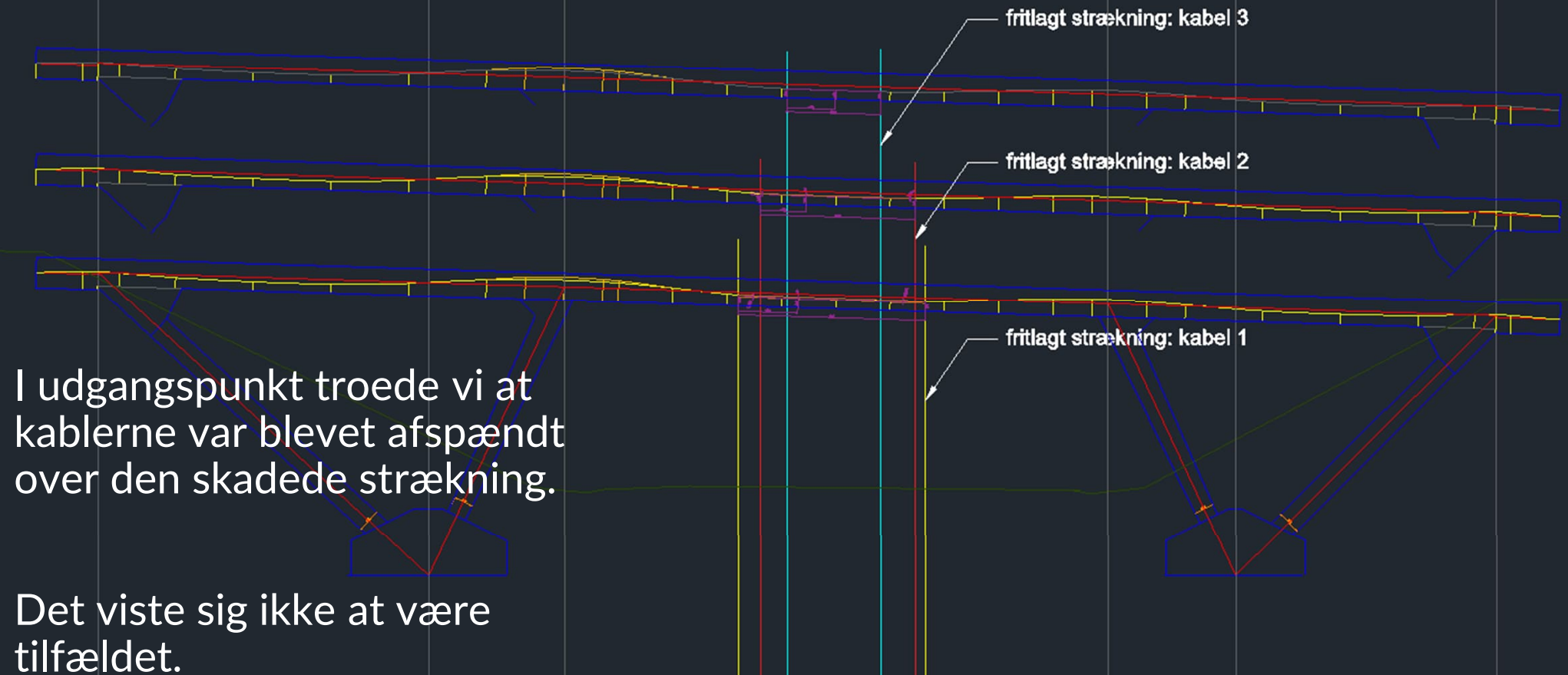
Efterspændingslayout



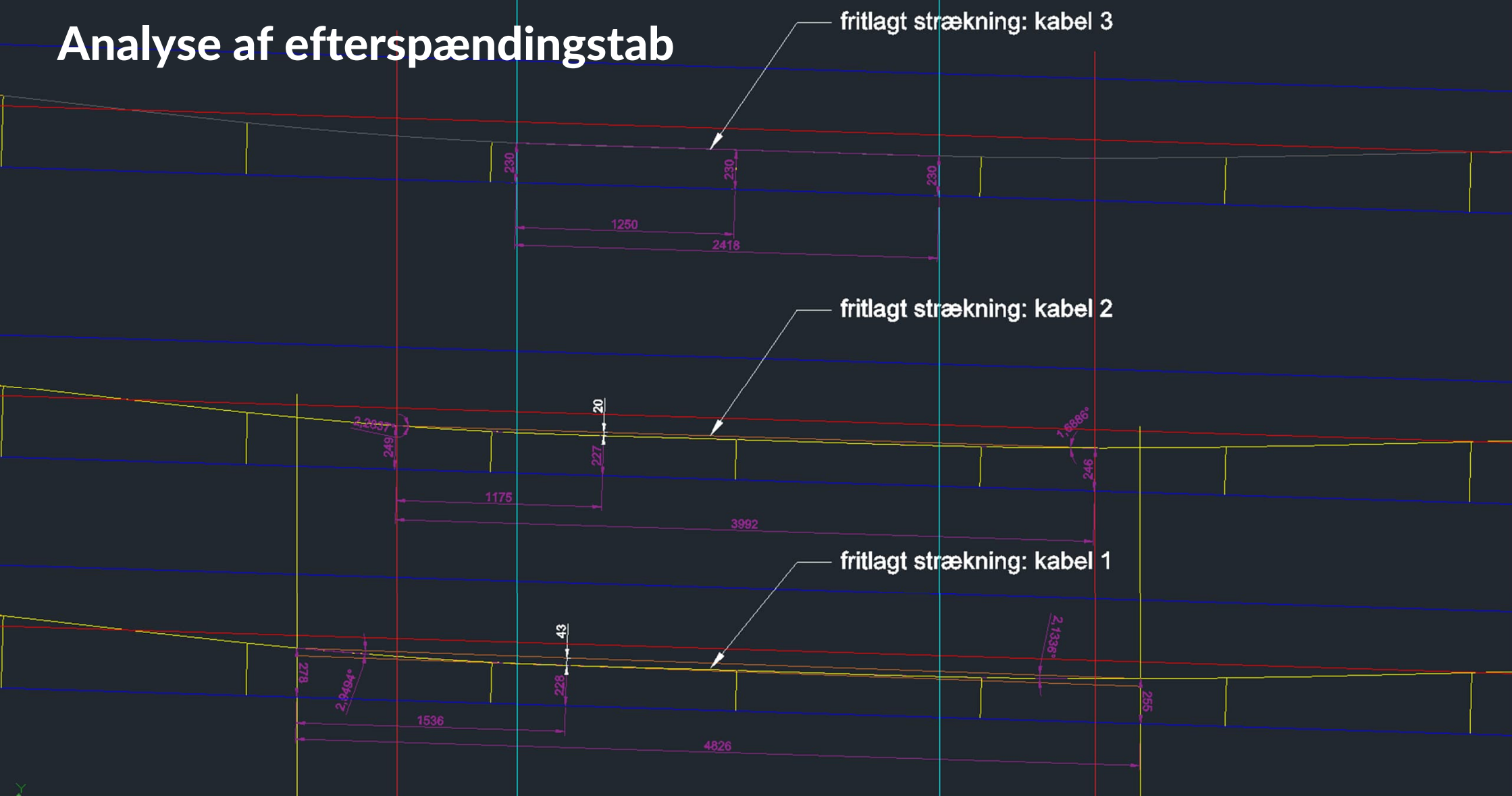
Analyse af efterspænding – digitaliseret kabelforløb



Analyse af efterspændingstab



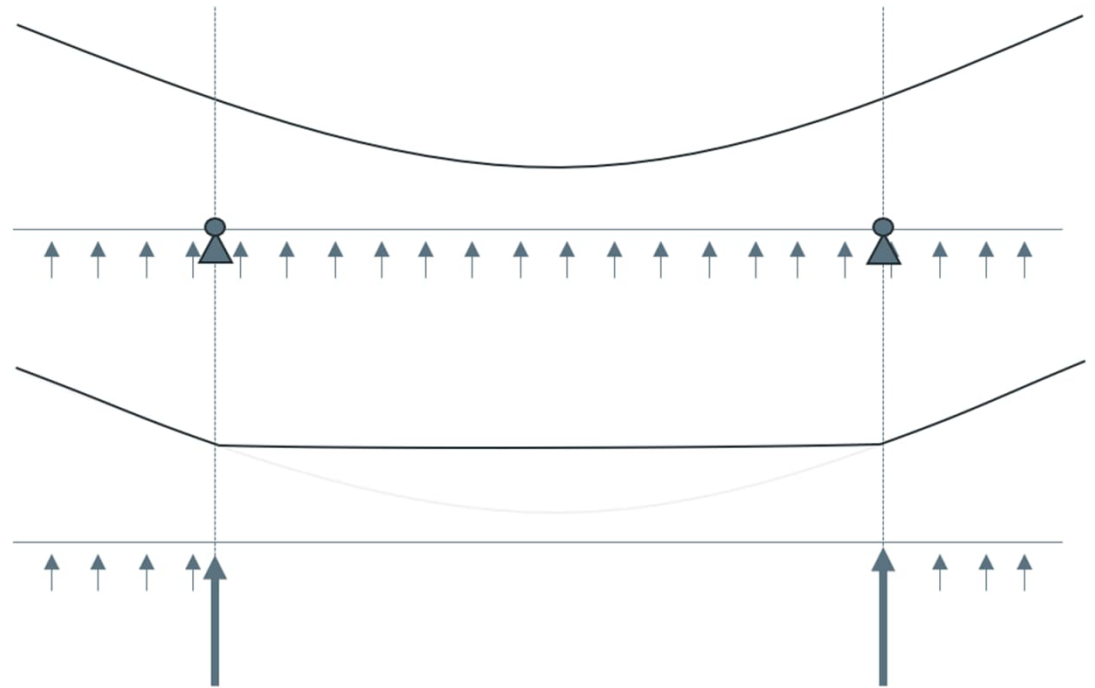
Analyse af efterspændingstab



Analyse af efterspænding

Kablerne har rettet sig ud over længden af den beskadigede zone

Ved brug af scanningen og oprindelige tegninger kan de omfordelte kabelkræfter bestemmes.

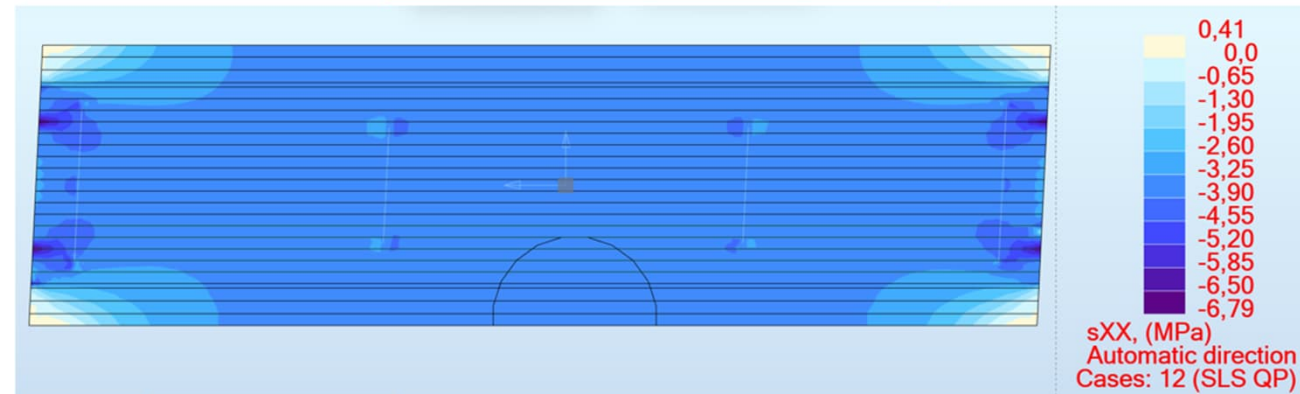


FE analyse - efterspænding

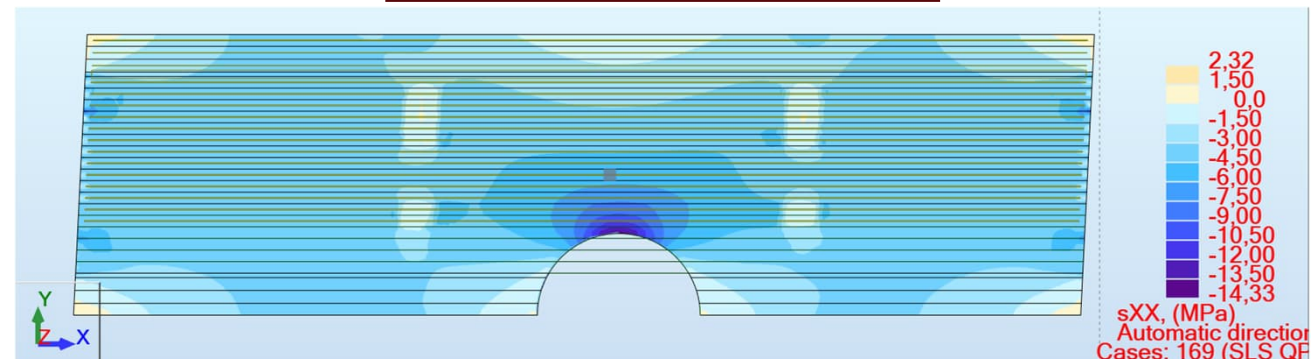
Efterspændingen, som normalt er til gavn for konstruktionen, har nu en negativ effekt.

Skaden har medført en ny ligevægt, hvor spændingerne er forøgede lokalt

Inden påkørslen

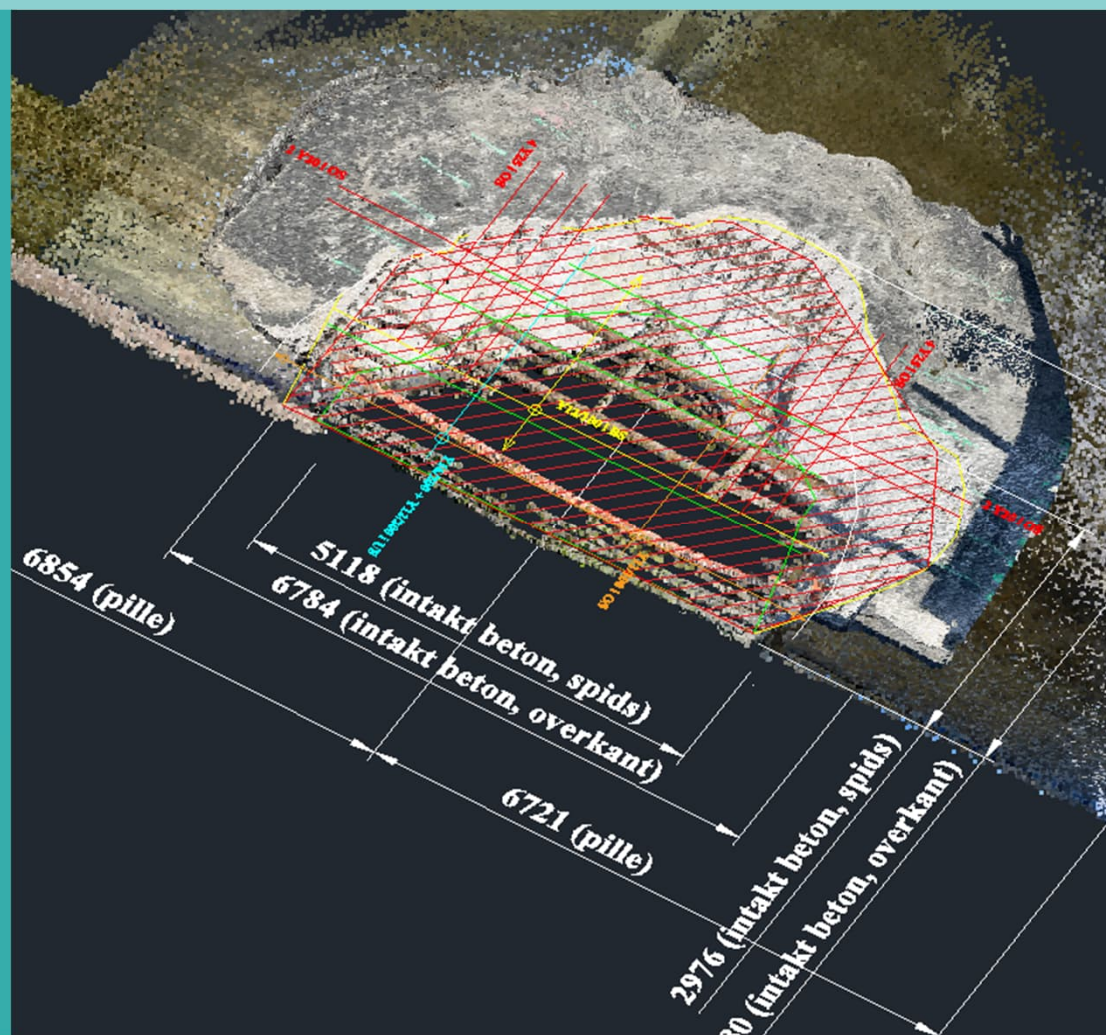


Efter påkørslen



7 → 14 MPa

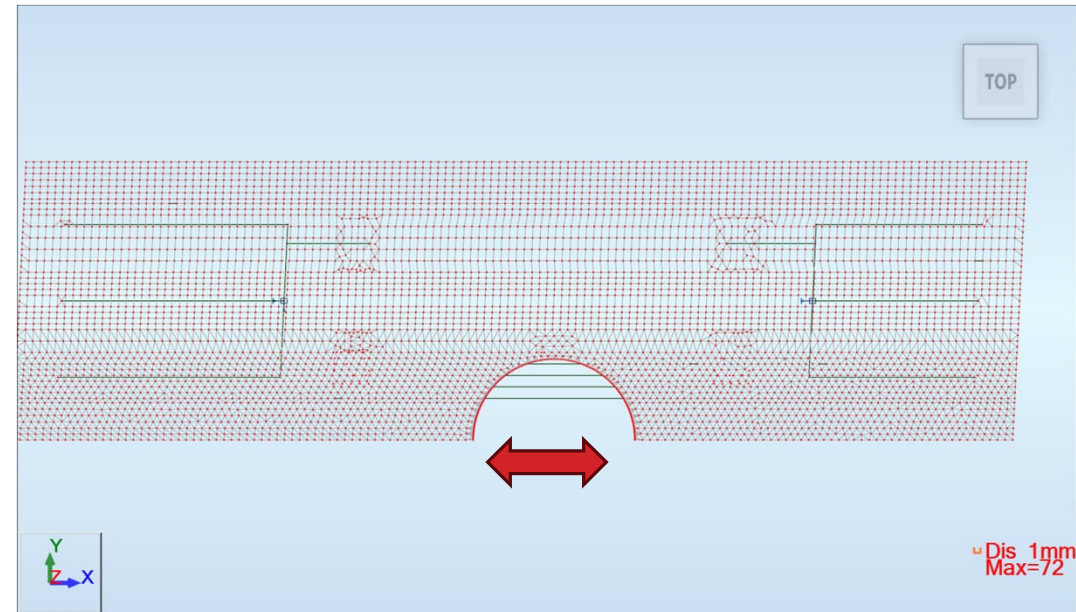
SYSTRA



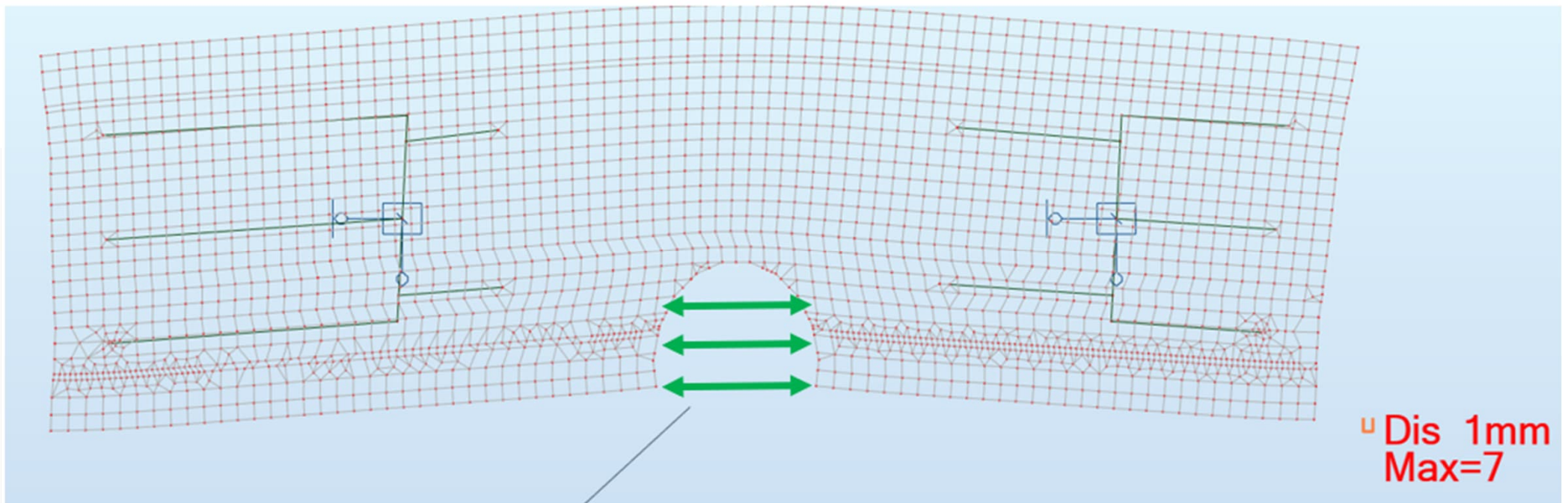
Vores første indskydelse, før analyser

Broens tvinges tilbage i oprindelig tilstand.

1. Donkrafte tvinger åbningen større
2. Den skadede zone udstøbes
3. Trykket aftages og den nystøbte beton (samt omkringliggende) vil være i tryk
4. Krybning og svind af den nystøbte beton vil medfører at overlejringstrykket gradvist vil falde.



- At tvinge brodækket tilbage til udgangspunktet, ville medføre en risiko for at overspænde linerne og/eller beskadige broen yderligere
- Alternativer afsøges derfor



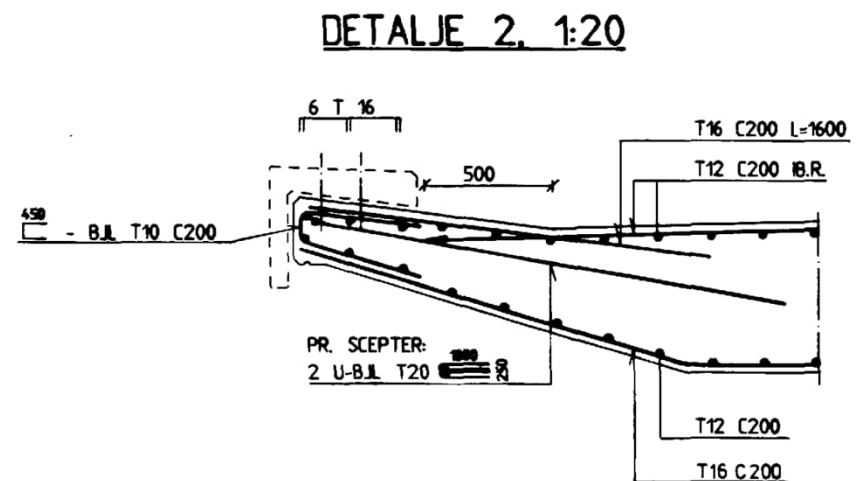
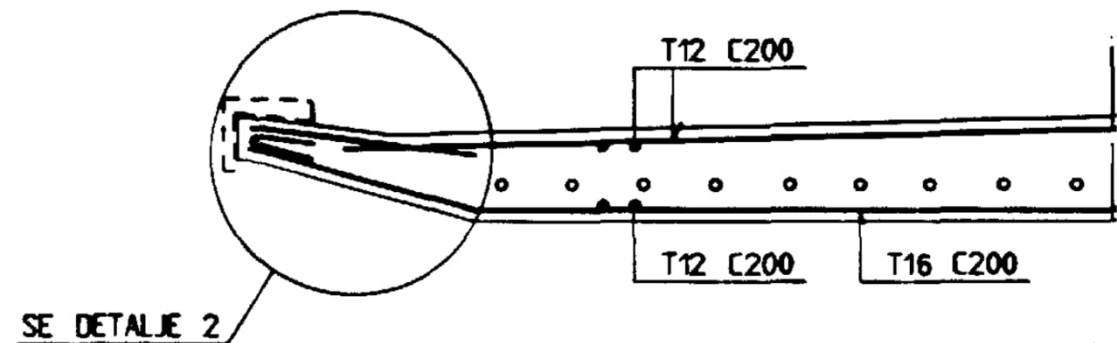
Ny metodik

Broen eftervises som den står, i den nye kraftligevægt

1. Den skadede zone udstøbes
2. Den nystøbte beton er trykspændingsfri
3. Kraften i de fritlagte kabler beregnes ud fra kabelforløbet

Problemstillinger

1. Utilstrækkelig frihøjde medfører spærring af underført vej.
2. Den nystøbte beton er trykspændingsfri og behandles som slapt armeret.
3. Tilstødende eksisterende beton er svagt armeret. Især forskydning er problematisk.



Virkemåden af broen, efter udstøbning

Problemstilling:

Den skadede konstruktion står i en ligevægt for permanente laster, inkl. forspænding.

Den nye udstøbning bliver kun aktiv for de permanente laster som virker netop på den, og derudover for alle fri laster.

Samvirkningen imellem ny og eksisterende beton afhænger af lasttilfældet:

- Den nye beton er spændingsfri for de permanente laster som hidrører den eksisterende konstruktion
- For fri laster samvirker ny og gammel beton

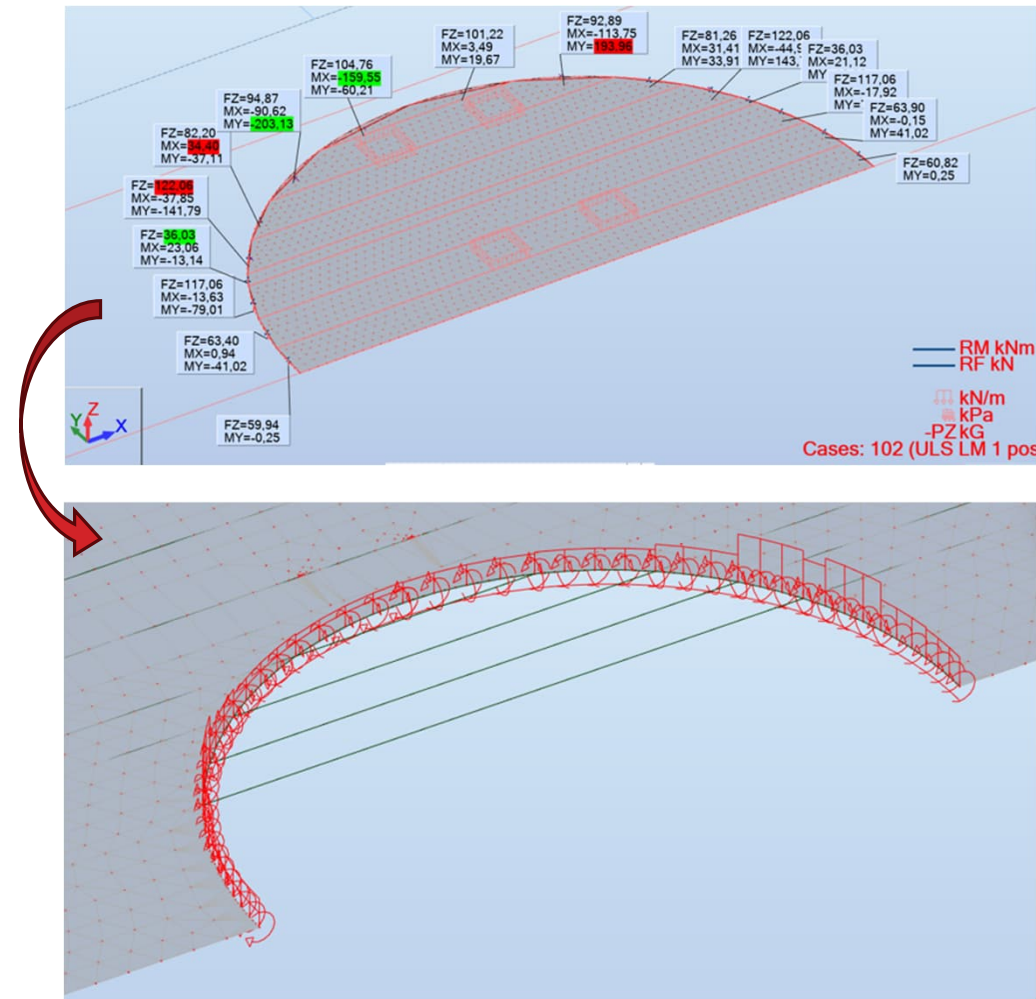
Virkemåden af det koblede statiske system

Med andet software (Lusas, FEM design, Sofistik, m.fl.) kunne der laves en konstruktions sekvens analyse (CSA)

Udfordring: behov for plastisk omfordeling på grund af svag kantbjælke.

Anvendt løsningsmetode:

Kræfter overføres via script imellem to separate modeller.
"old school stadieanalyse"

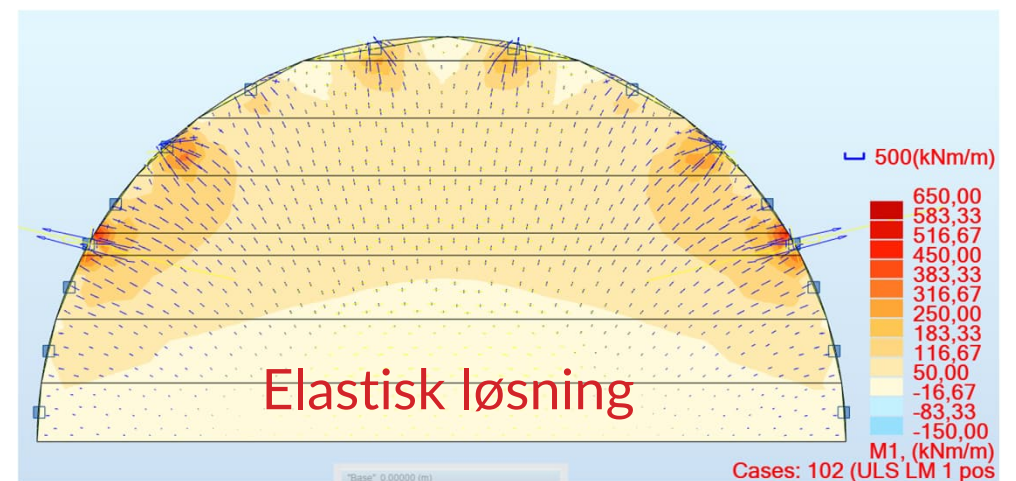
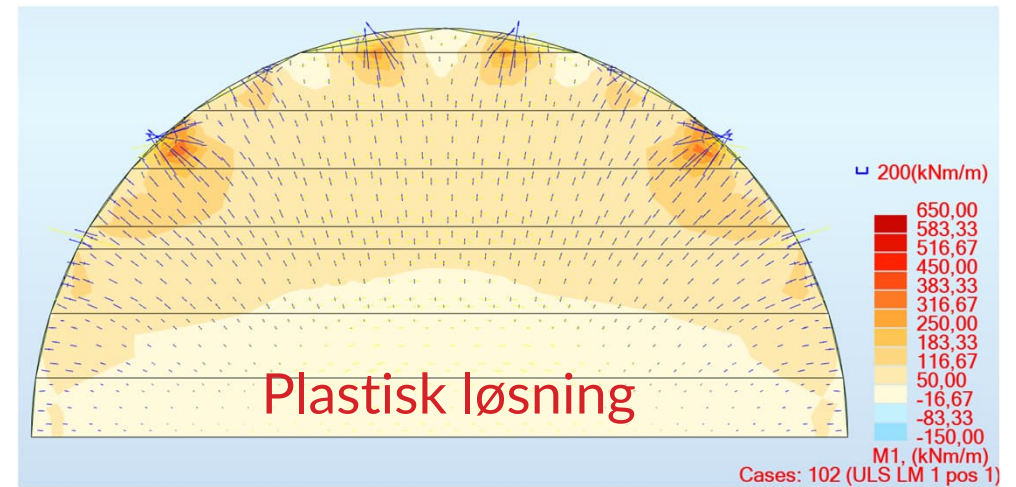


Graden af plastisk omfordeling

Udfordring: behov for plastisk omfordeling på grund af svag kantbjælke.

Ved at indføre ikke-lineære understøtninger i modellen af udstøbningen opnås en statisk tilladelig løsning

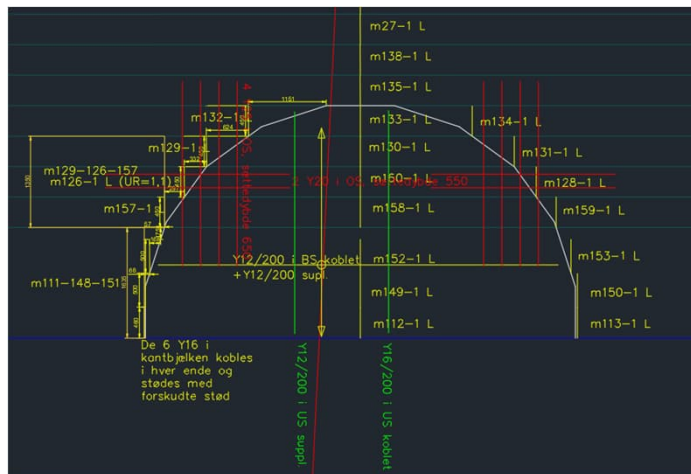
Det er krævet at alle snit er minimumsarmerede.



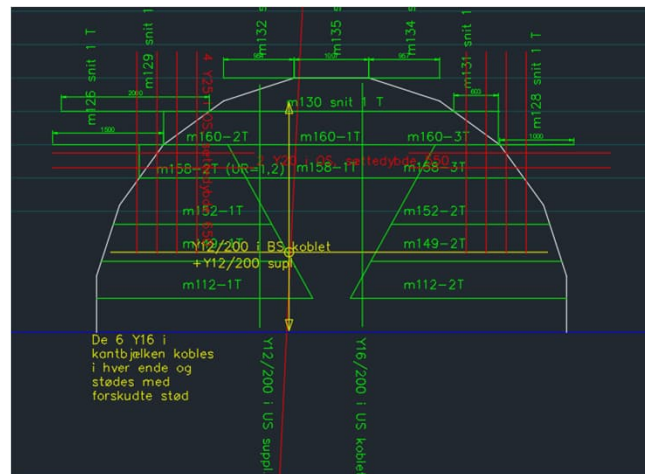
Eftervisning af eksisterende og ny beton

- Snit eftervises ved håndberegning (M-N analyse)
- Integralværdier fra “panel cuts” fra Robot FE modellen af Wood-Armer momenter, normal- og forskydningskræfter.

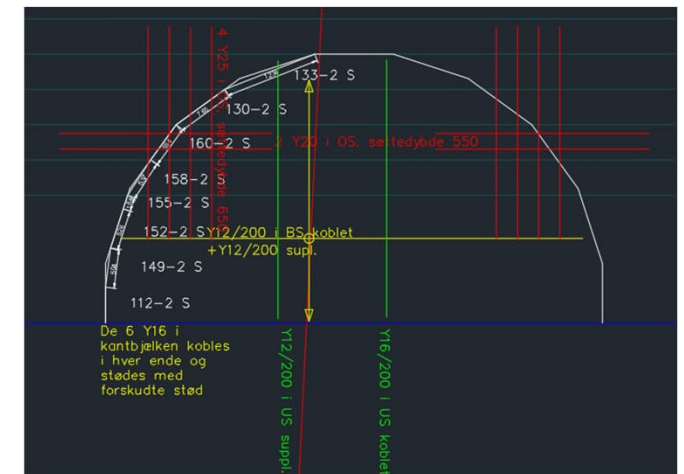
Langsgående snit



Tværgående snit



Støbeskel



Udførelse

Spærring af underført vej er påkrævet, grundet utilstrækkelig frihøjde ved forskalling.

- Indlimet armering som forstærkning af eksisterende beton i kritiske snit. Sparring med Hilty omkring muligheder for hulstørrelser og dybde
- Ny beton udføres med væsentligt højere armeringsgrad end omkringliggende eksisterende beton, hvorved svindrevner anvises til støbeskellet
- Støbeskel planlægges at skulle injiceres med elastisk fugemasse efter 3-4 måneder.
- Fugtmembran og belægning genetableres efter injicering.

Fordele ved reparation fremfor udskiftning

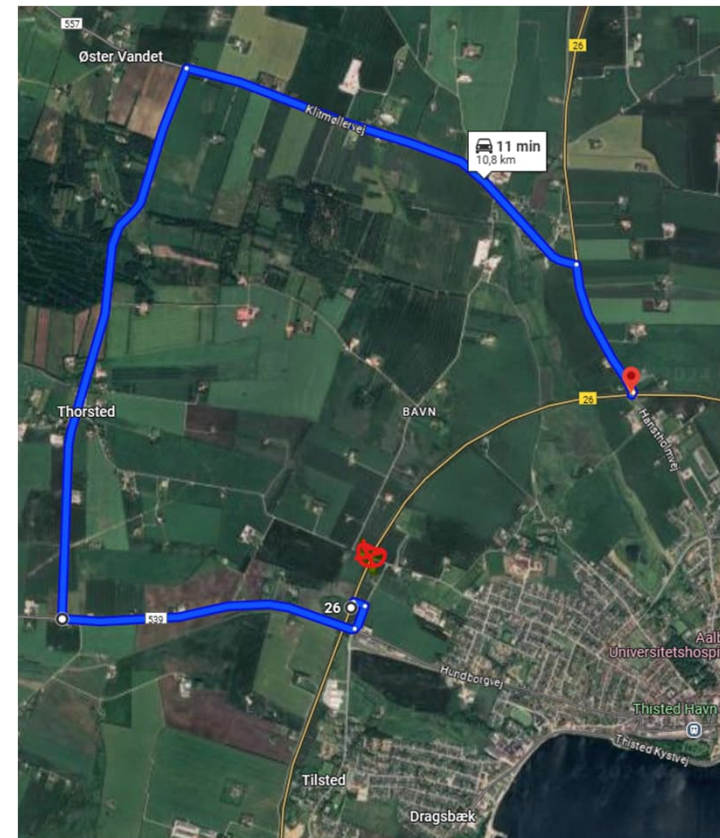
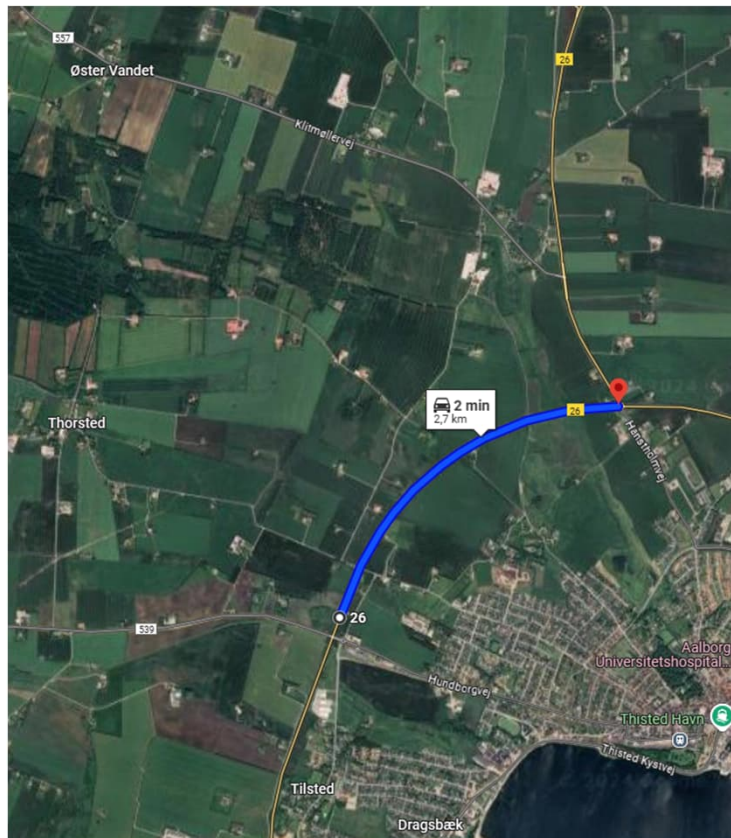
Udskiftning (alene brodækket):

Nedbrydning
250 m³ beton
428 m² belægning

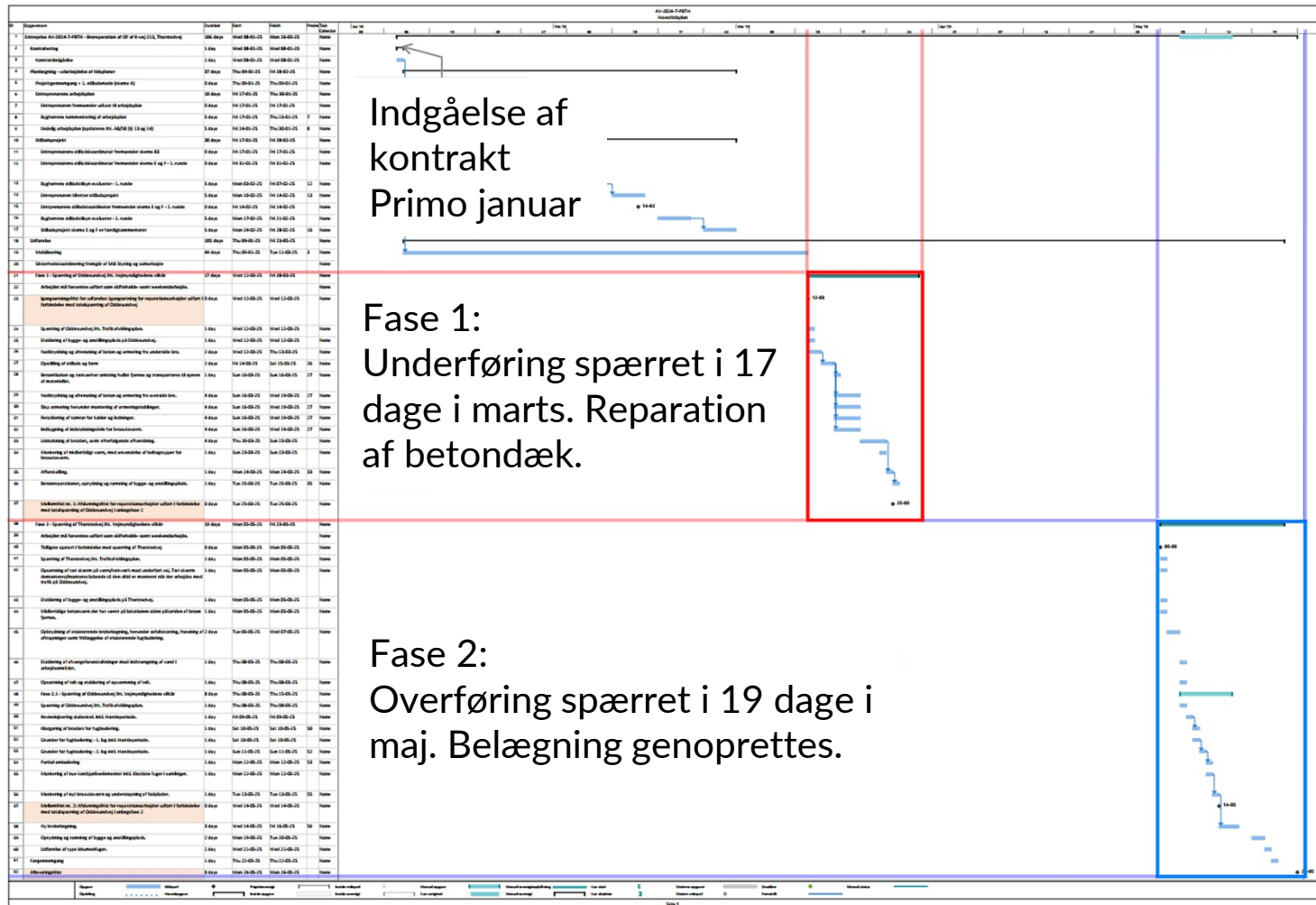
Reparation:

10 m³ beton
40 m² belægning

Omdirigering af tunge køretøjer: +8 km



Tidsplan (planlagt ifm. udbuddet)



Tak for jeres tid!

Q&A

SYSTRA

Kontakt:

jbernth@systra.com

mhovgaard@systra.com



CONFIDENCE MOVES THE WORLD

Dansk Brodag 2025