

Dansk Spuns- & Rammedag 2016

Fra beton til stål – 100 års levetid



Peter H. Møller

RAMBOLL

MY BACKGROUND



Erfaring fra:
25 års inspektion af konstruktioner
25 års renovering- og vedligeholdelses
projekter

Fokus på levetidsbestemmelse og
sikring af holdbarhed



Strategier opfyldelse af levetidskrav: 5
år
Levetidsdesign: 5-6 år

SPECIFIKKE LEVETIDSKRAV

Typisk for anlægskonstruktioner:
100-120 år **uden vedligeholdelse**

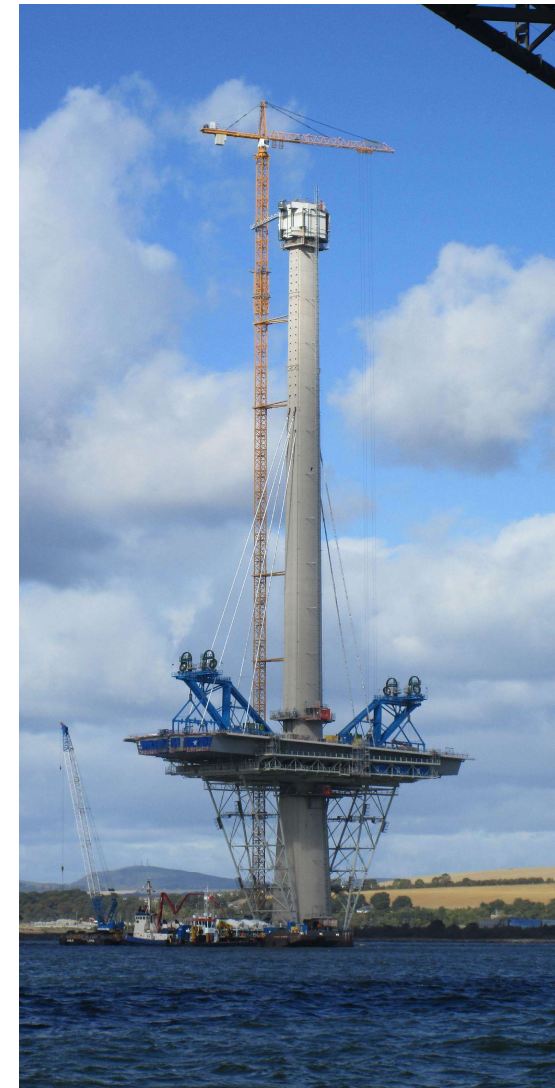
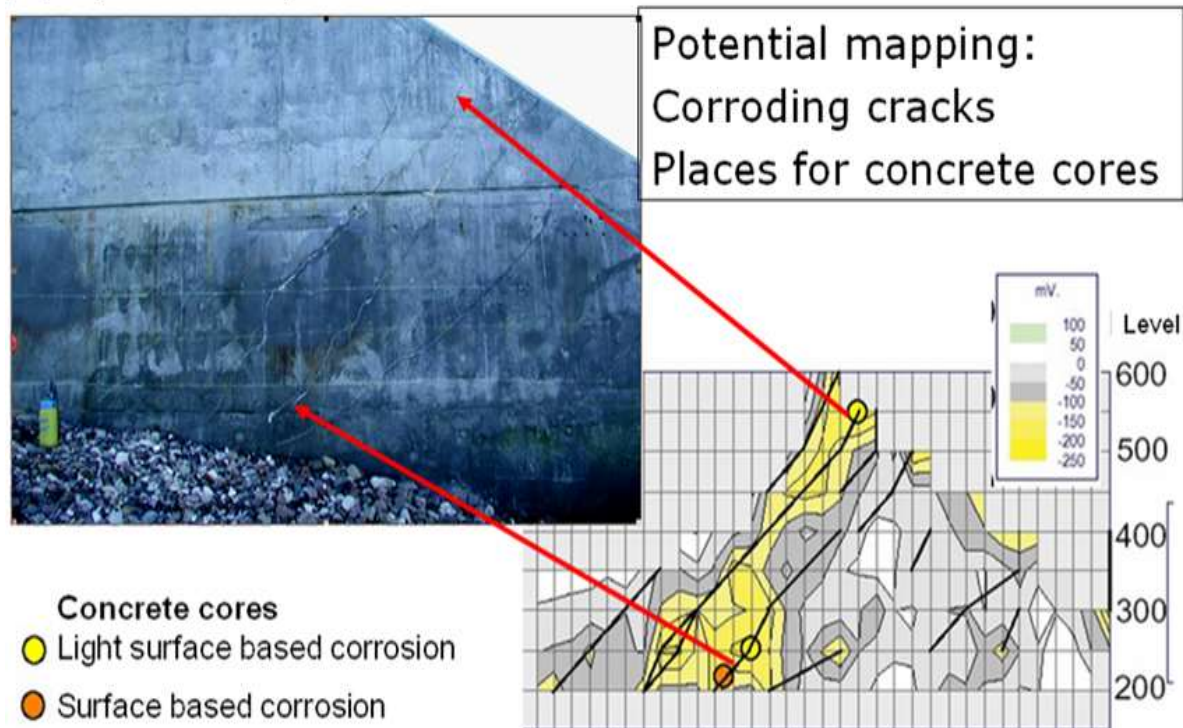
Betonkonstruktioner foretrækkes



100 ÅRS LEVETID FOR BETONKONSTRUKTIONER

Metoder:

- Øget dæklag
 - Bedre betonkvalitet
 - Mindre revnevidde
- Evt. rustfri armering

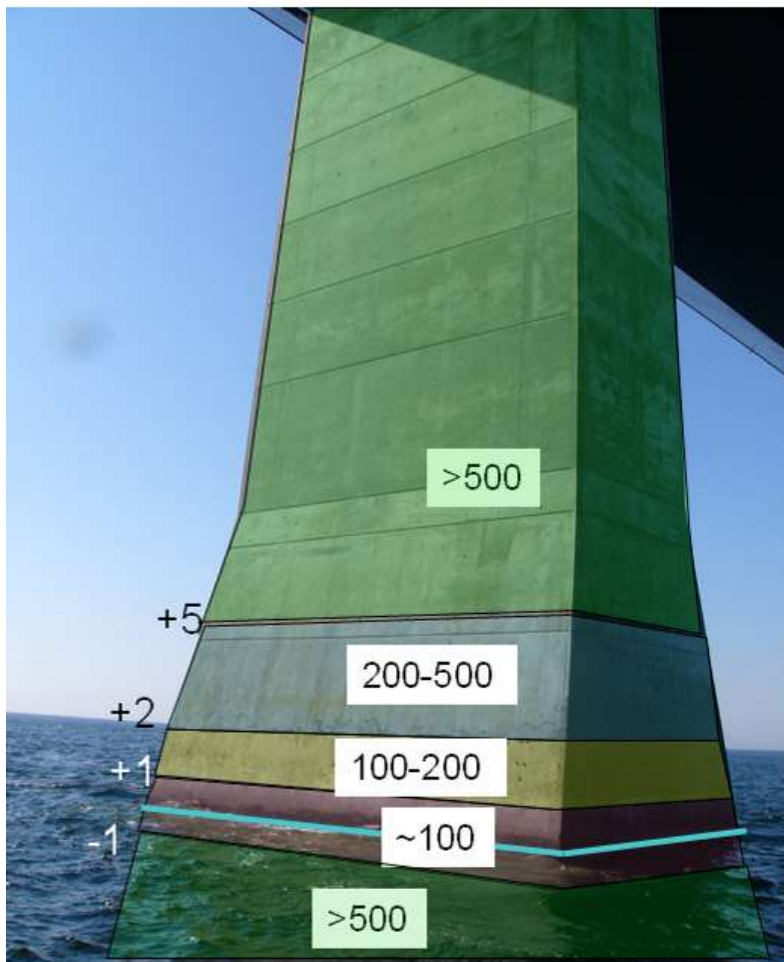


Forth broen Scotland,
rustfri armering

100 ÅRS LEVETID FOR BETONKONSTRUKTIONER

Opnås simpelt:

- I luft uden væsentlig klorid
- Permanent i vand
- I jord



Storebælt, Vestbro, katodisk beskyttelse af 63 caissoner: 250 kg anoder/år $\approx$ 7000 kr/år

100 ÅRS LEVETID FOR BETONKONSTRUKTIONER

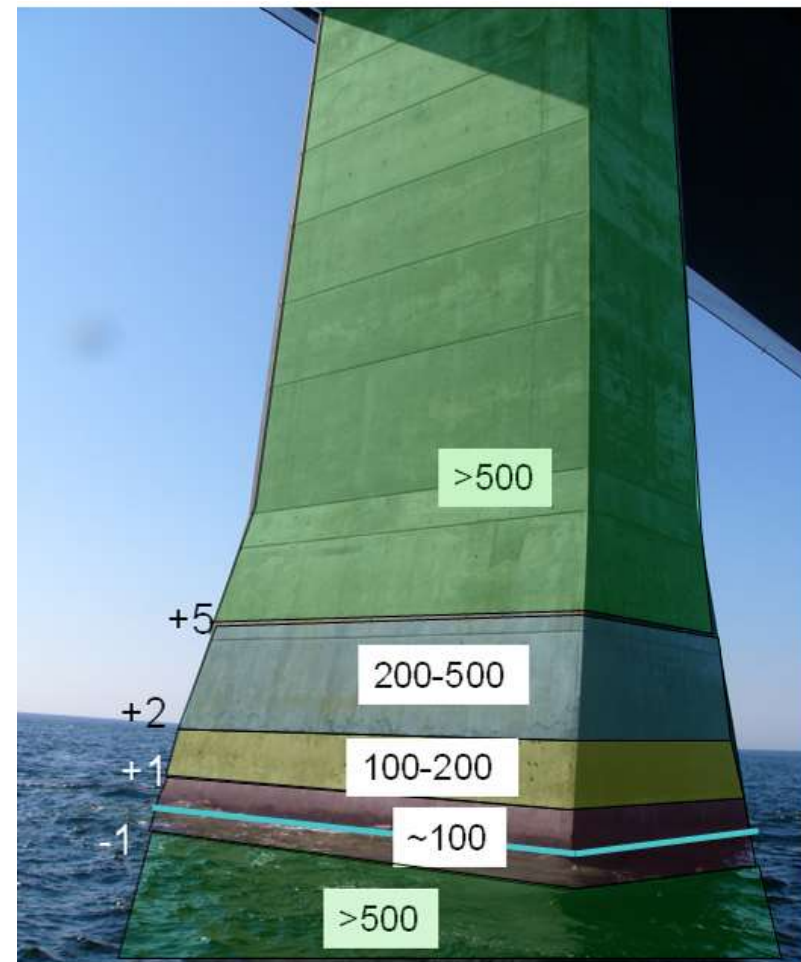
Opnås vanskeligt:

- Splash zone
- Påvirket af tøsalt



Danske betonbroer beskyttes mod salt vha. fugtisolierende membran

RAMBOLL



HOLDBARHED FOR SPUNSVÆGGE BETON



Motorring 3, spunsvægge beskyttet af
armeret betonkonstruktion

OVERFLADEBEHANDLING, LØBENDE VEDLIGHOLD DYRT OG PROBLEMATISK



Coating levetid ca. dobbelt så
lang som iht ISO 12944-5 (15 år)

Lyngbyvejen efter en dyr og problemfyldt (trafik +
nabostøj) genbehandling

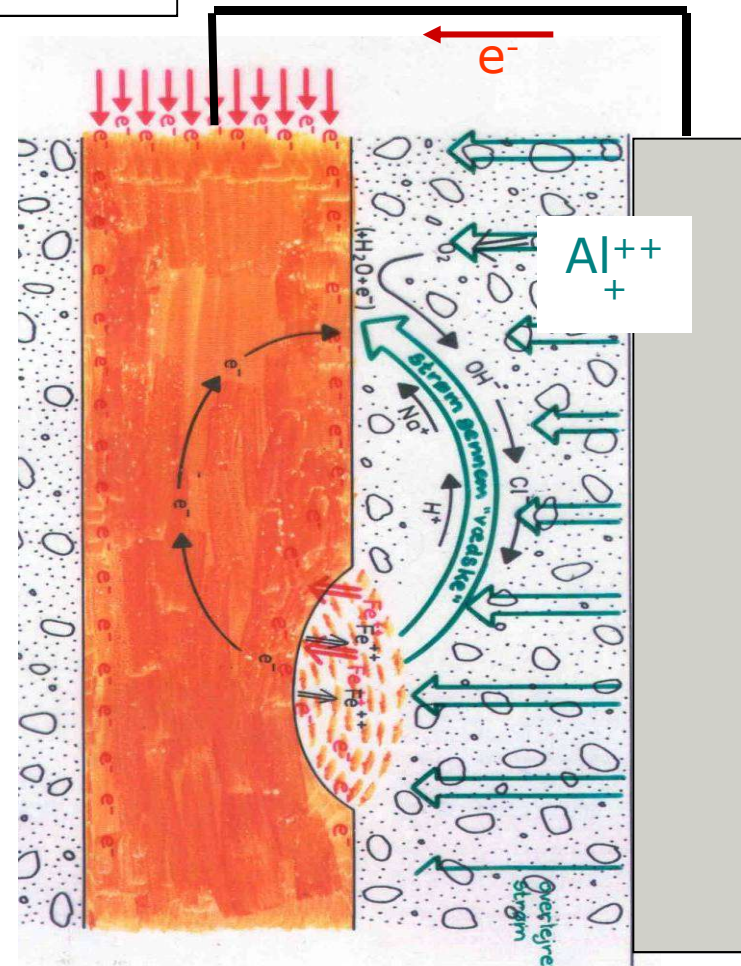
KATODISK BESKYTTELSE I VAND

Beskyttelsen opnås ved at sende strøm ind i de overflader der skal beskyttes

Udgifter til anoder: 7 kr./m²/år



RAMBOLL



KATODISK BESKYTTELSE I JORD



Katodisk beskyttelse af oiletank



Strømforsyning for beskyttelsessystem



Jord anode

RAMBOLL

Strømodgift for
beskyttelse:
 $1,5 \text{ kr./m}^2/\text{year}$
+
Elektrisk system

KORROSIONSTILLÆG



Udgift for 1 mm korrosionstillæg:
Ca. 50-60 kr./m²

Forventet korrosion i luft: 1-2 mm/100 år

KORROSIONSTILLÆG FOR SPUNSVÆGGE

Udgift for 1 mm
korrosionstillæg:
Ca. 50-60 kr./m²

100 års korrosion iht. Eurocode:

Atmospheric corrosion, normal:	1 mm
Atmospheric corrosion, marine:	2 mm
Undisturbed natural soil:	1,2 mm
Polluted/aggressive natural soil:	3 mm
Non-compacted fill:	2,2 mm
Aggressive non-compacted fill :	5,8 mm
Fresh water:	1,4 mm
Seawater, splash zone:	7,5 mm
Seawater, submerged:	3,5 mm



Normalt er spunskonstruktioner ubeskyttede

Ubeskyttede ankre

RAMBOLL

Typisk dansk korrosionstillæg 2-3 mm
(30-50 års service life)

KORROSIONSBESKYTTELSESMETODER

SAMMENLIGNING AF UDGIFTER (GROFT OVERSLAG)

De anførte beløb kan påvirkes meget af korrosionstypen og må ikke anvendes direkte

Udgifter kr./m², 50 år (100 år)

Metode/ Eksposering	Korrosions- tillæg	Overflade beskyttelse	Katodisk beskyttelse	Beton- konstruktion
Luft	50 (100)	1000 (2000)	-	2500 (2750)
Splash zone	500 (1000)	-	(-)	3500 (3750)
Havvand	250 (500)	-	250 (500)	-
Jord	50 (100)	-	125 (250)	-

konklusion:
Korrosionstillæg er optimalt i alle eksponerings zoner

KORROSIONSTILLÆG IHT. EUROCODE 1993-5

- Angivne korrosionstillæg tilsidesættes af evt. nationalt anneks
- Dansk anneks: Højere korrosion fra lokale forhold skal vurderes
 - Særlig risiko nær saltede veje og stier (VD afstand: 3 m lodret, 3-5 vandret)
 - Korrosionshastighed i vand kan afvige markant
 - Begrænsning af korrosion ved svejsning af låse
- Korrosionstillæg i Eurocode er ikke nødvendigvis konservative



KONSERVATISME I EUROCODE KORROSION



For vigtige betonkonstruktioner kan det også gå galt. Farøbroen dyr katodisk beskyttelse efter 25 år



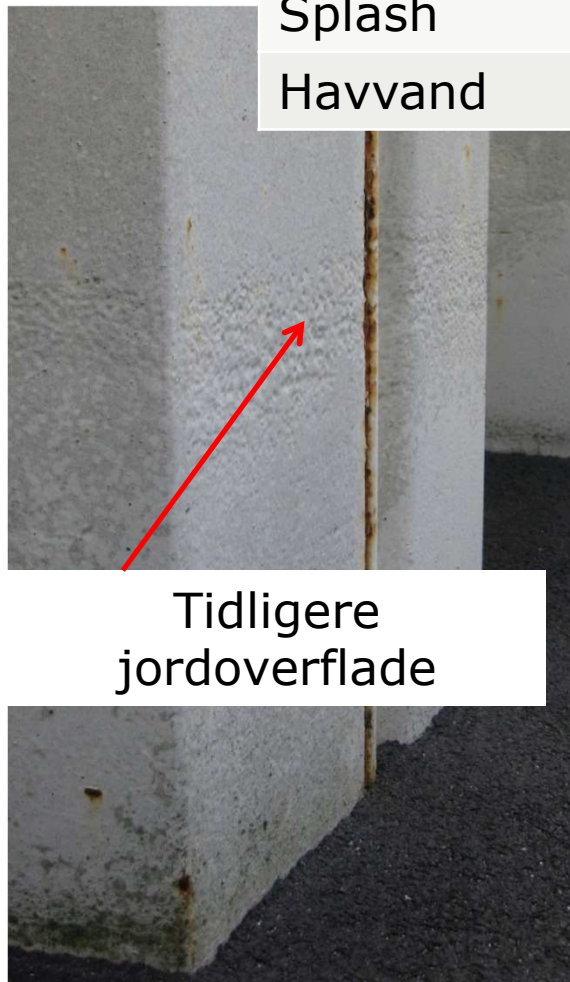
Grove skader er nok mere accepterede for traditionel spunsvægsanvendelse

NATIONALT ANNEKS, NORGE

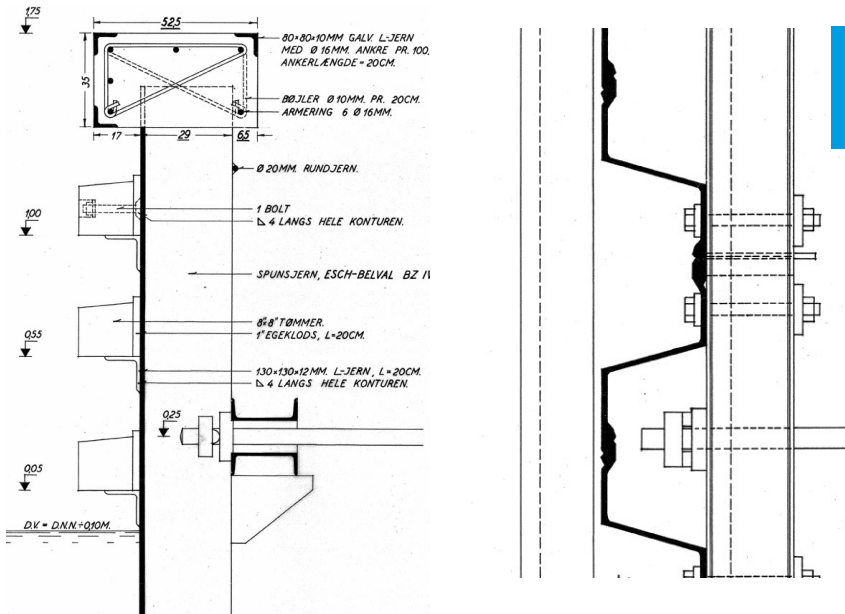
	Basis	NA, Norge
Atmospheric corrosion, normal	1 mm	1 mm
Atmospheric corrosion, marine	2 mm	2 mm
Undisturbed natural soil:	1,2 mm	2 mm
Polluted/aggressive natural soil	3 mm	3,5mm
Non-compacted fill:	2,2 mm	4 mm
Aggressive non-compacted fill	5,8 mm	6 mm
Fresh water:	1,4 mm	20 mm
splash zone:	7,5 mm	30 mm
Seawater, submerged:	3,5 mm	10 mm

KORROSIONSTILLÆG, SAMMENLIGNING AF NORMER

Norm/ Eksponering	Eurocode Piling	DS/EN ISO 12944-2*	DNV Offshore	Rambøll experience
Luft	1-2 mm	2-20 mm	10 mm	1-20 mm
Splash	7,5 mm	-	30 mm	15-30 mm
Havvand	3,5 mm	-	10 mm	-



KORROSION I JORD, ERFARINGER



Korrosion i jord er normalt meget langsommere end i luft og vand



Spunskonstruktion efter 42 år i jord



Spunskonstruktion efter 42 år i splash zone

KORROSION IN AGGRESSIVE JORDARTER



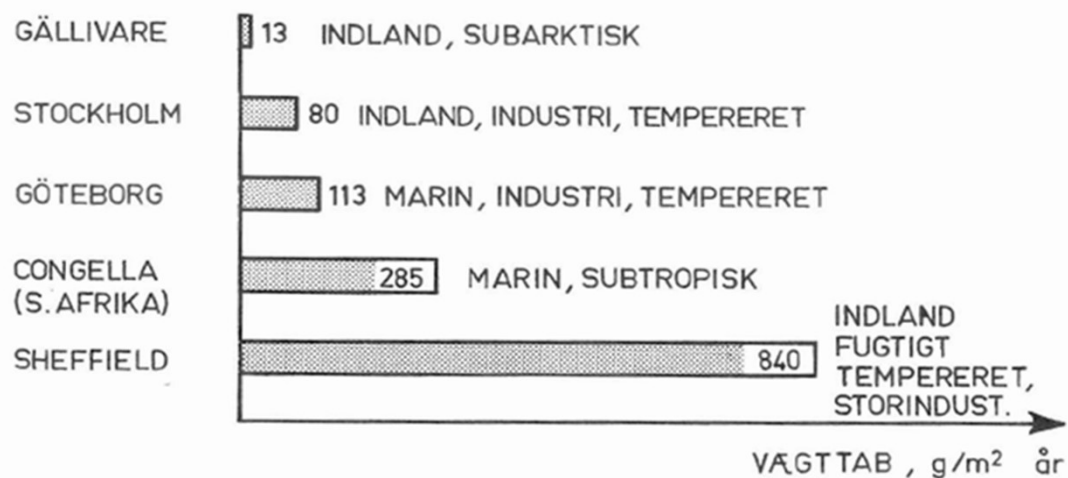
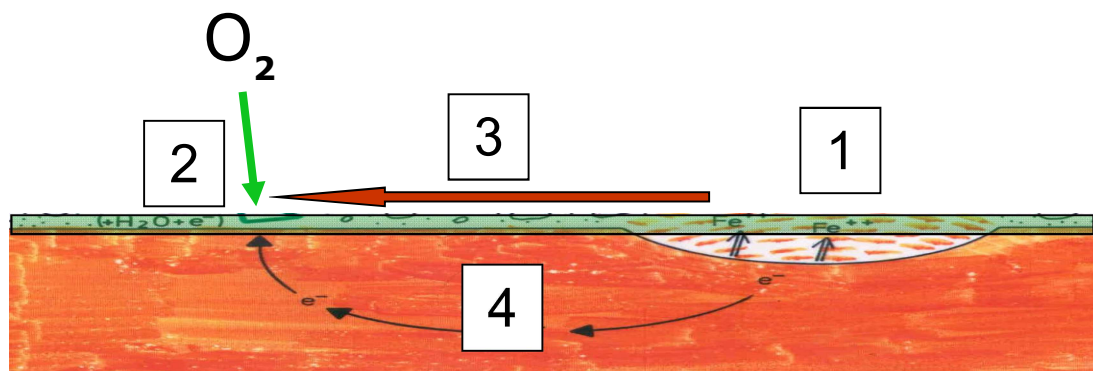
Jordprøve



AISI 316 stål efter mindre end 10 år

KORROSION I LUFT

BESTEMMENDE FORHOLD



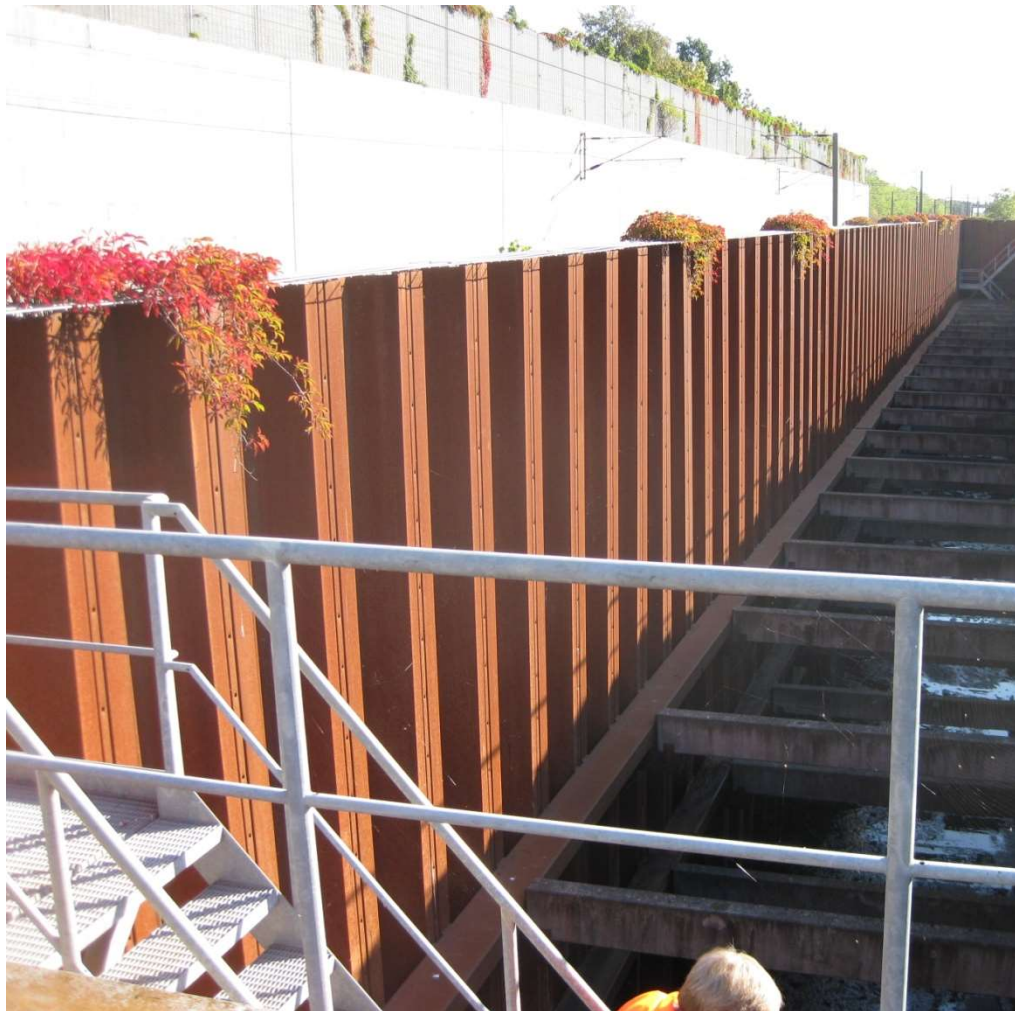
Korrosions hovedområder:

- (1) Rust dannelse
- (2) Iltadgang
- (3) Overfladens ledningsevne
- (4) Metallisk elektrisk forbindelse

Overfladens ledningsevne bestemmer normalt korrosionshastigheden i luft

KORROSION I LUFT, ERFARINGER UTÆTTE SPUNSLÅSE

Service life krav: 100 år
Korrosionstillæg (For- + bagside): 5 mm



MÅLING AF RESTGODSTYKKELSE EFTER 10 ÅR



Måling er relativt simpel

Sum af tykkelsestab fra for- og bagside måles

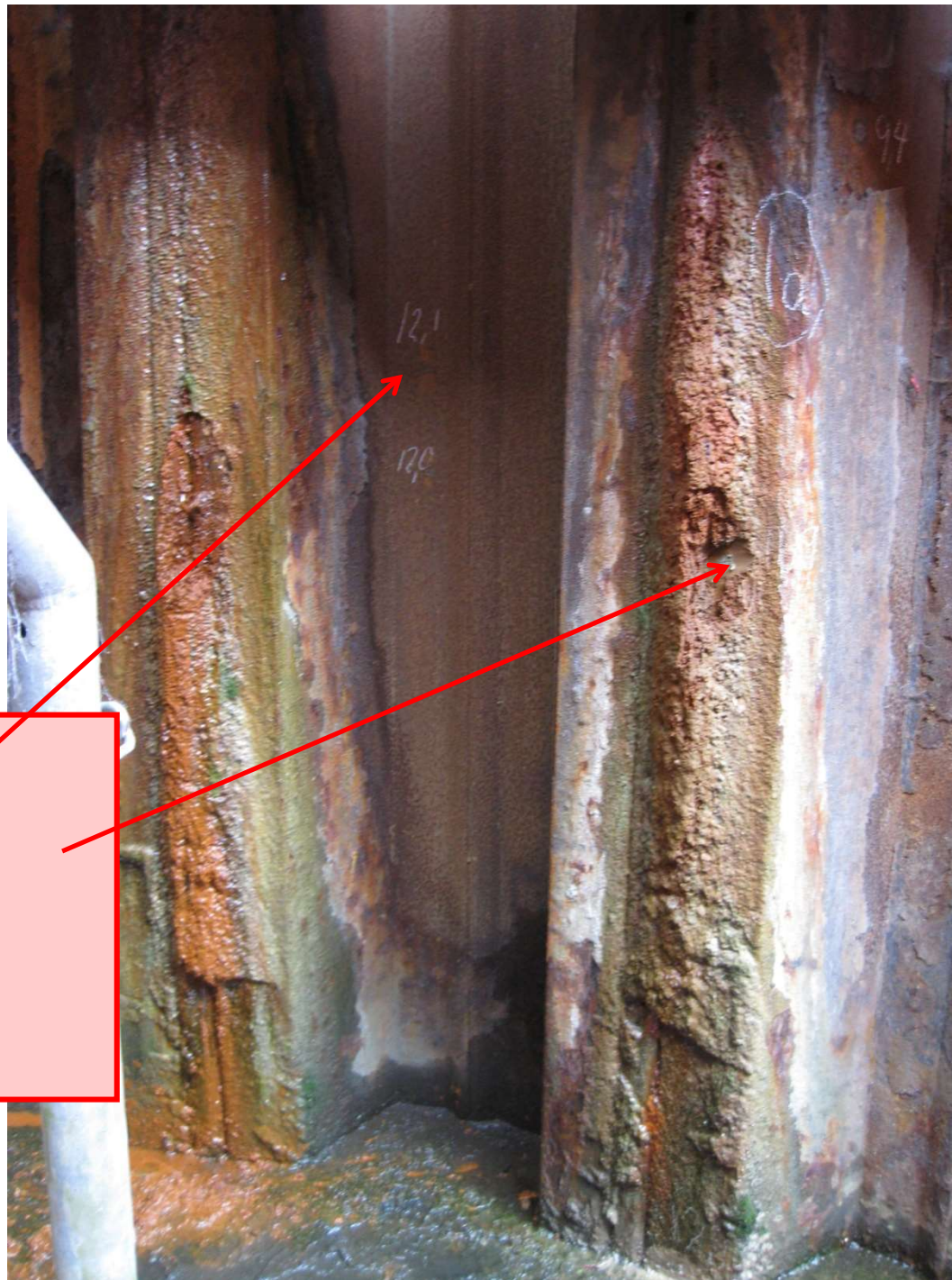
RESULTATER

12 mm spuns efter 10 år:
Tør: Tykkelsestab <0,2 mm
Våd: Tykkelsestab ca. 2 mm
Forventet levetid: 25 år

Konklusion:

Utætte låse er unacceptable

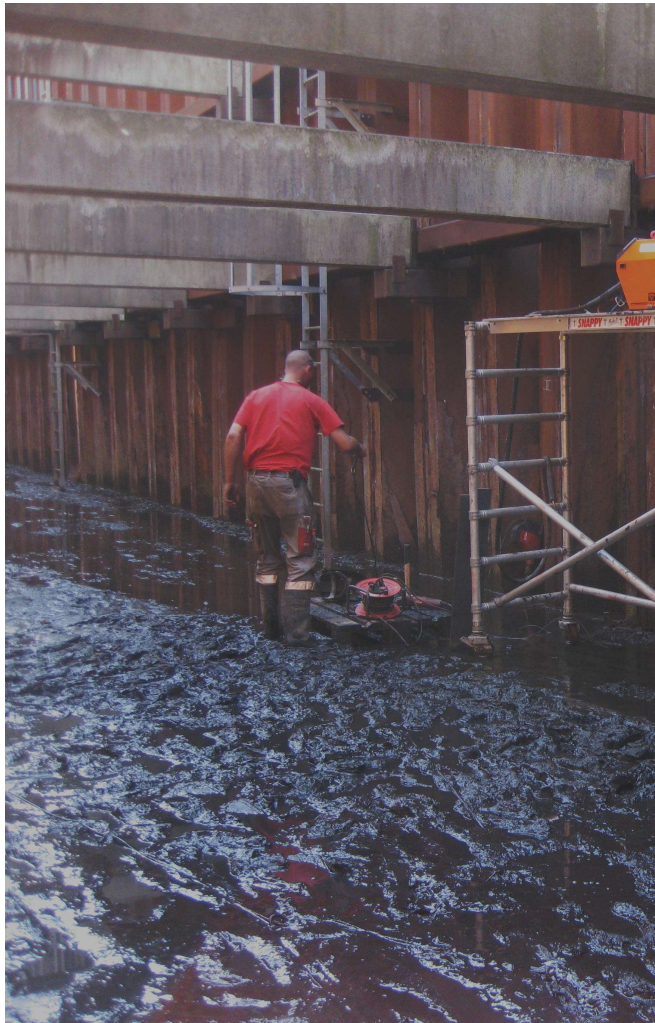
RAMBOLL



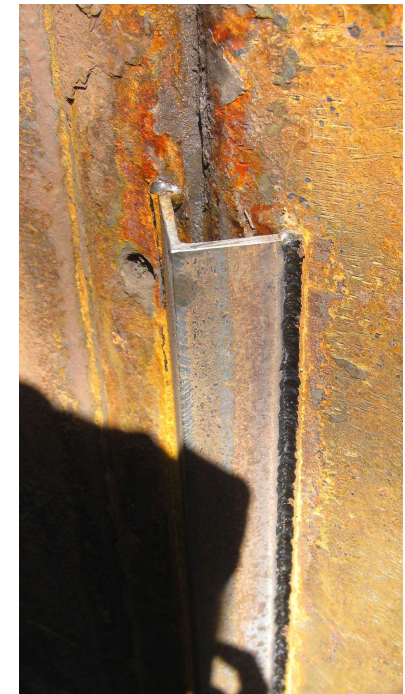
UDBEDRING, SVEJSNING AF LÅSE

Svejsning af låse er vanskelig:

- Gennemsvivningerne bevæger sig
- Supplerende stålprofiler kan være nødvendige



RAMBOLL



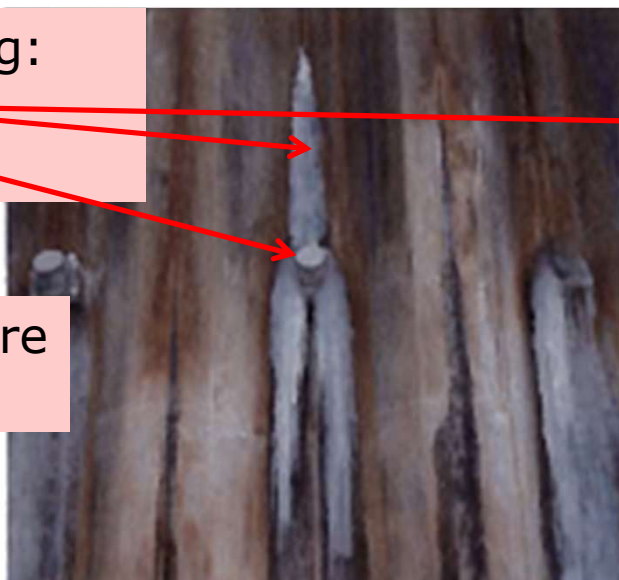
UTÆTTE LÅSE, 1.5 KM JERNBANEPROJEKT



Vandgennemslivning:

- I låse
- Gennem ankre

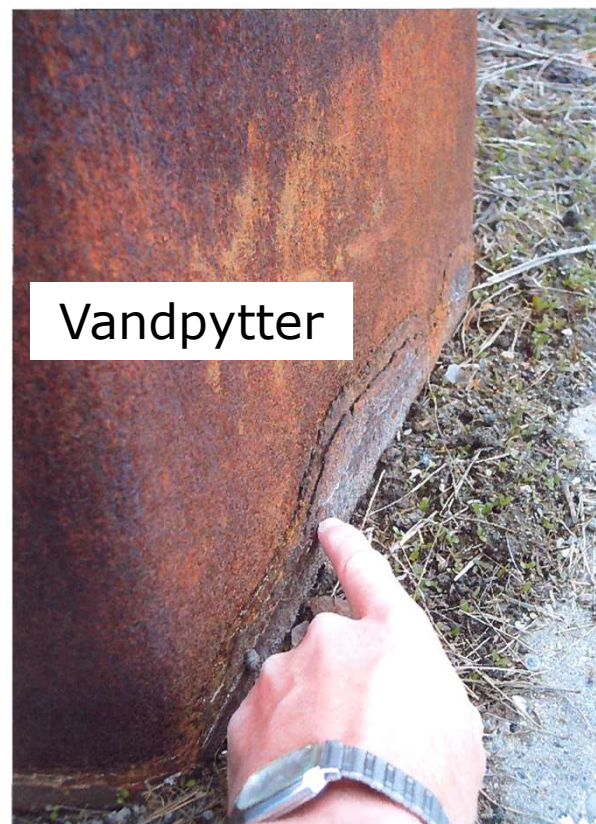
Både spuns og ankre
korroderer



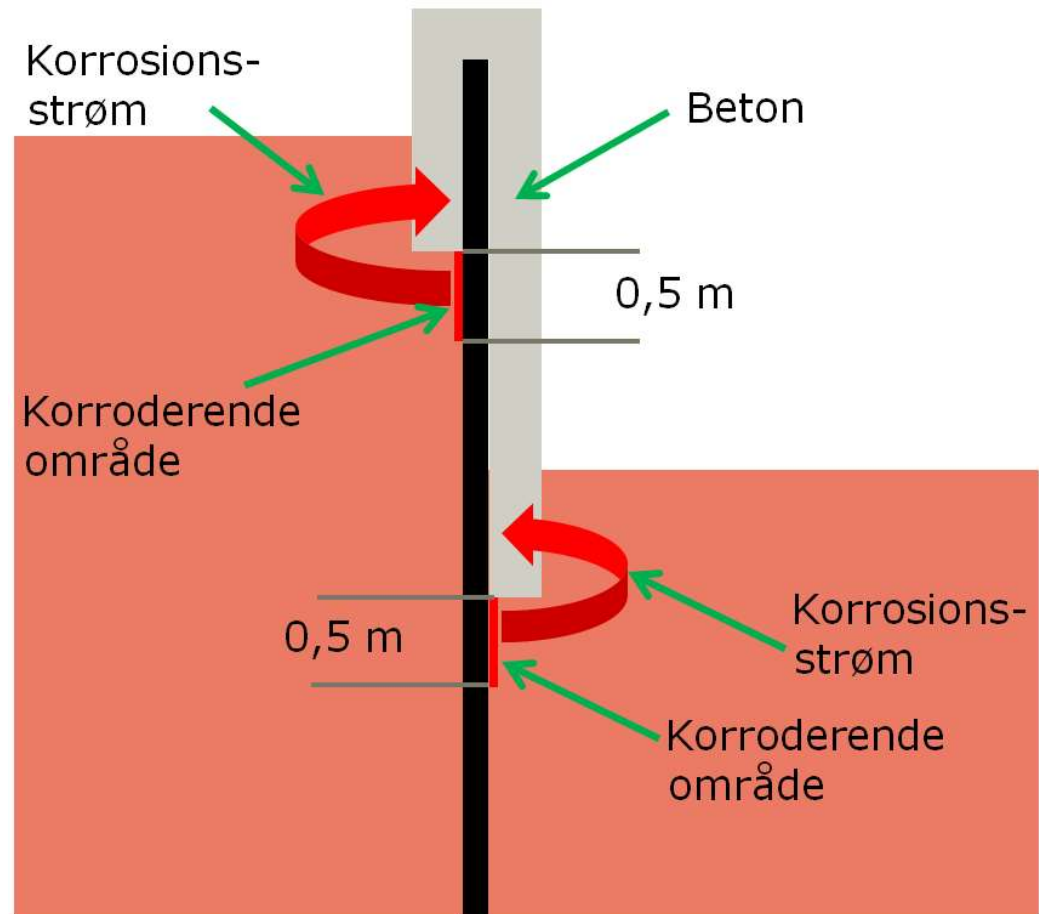
KORROSION I OVERGANGSZONER



RAMBØLL



KORROSION I OVERGANGSZONER, BETON



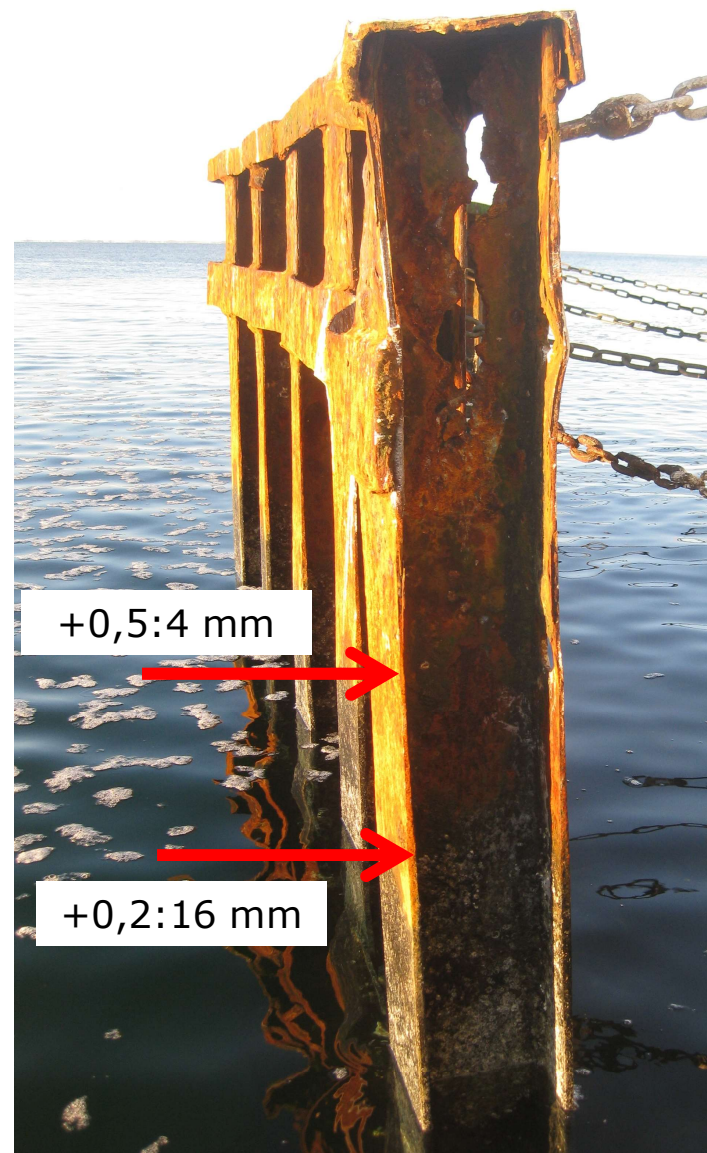
Korrosionsmekanismen er mulig, men bremses af betonens elektriske modstand

KORROSION I SPLASH ZONE



8 mm spuns efter 45 år (0.1-0.2 mm/år er typisk max.) **Eurocode:**
0.075 mm/år

RAMBOLL



Middelvandstand er øvre grænse for katodisk beskyttelse i havvand

ANAEROB KORROSION

Typisk lokalangreb:

- Høj max. korrosion >1 mm/år
- Moderat gennemsnitshastighed, typisk 2-6 mm/100 år

Øget risiko ved:

- Meget organisk materiale
- Højt sulfatindhold
- Generel forurening

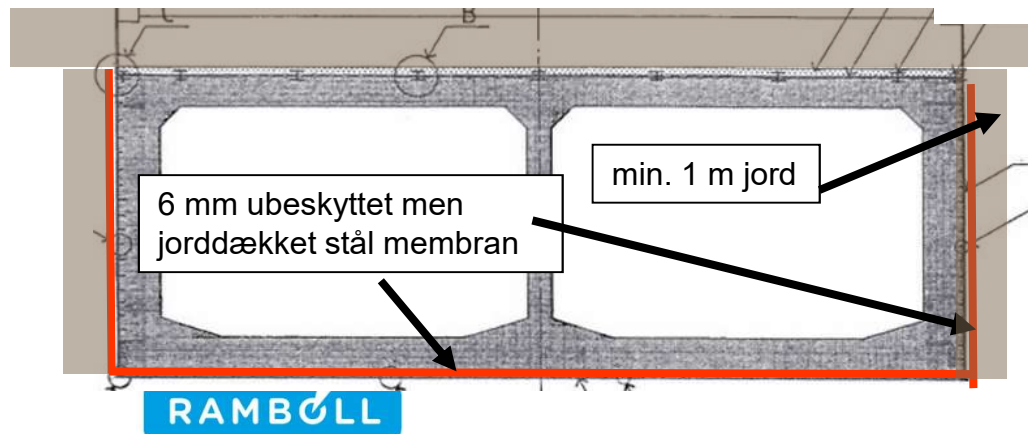
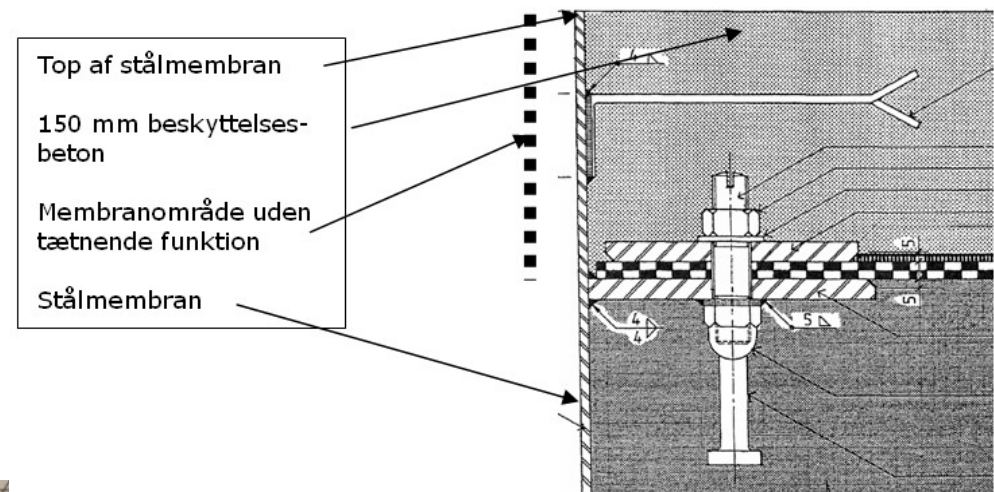
Meget skadelig for stålmembraner



Katodisk beskyttelse, Guldborgsund tunnel

Optimistisk design af ubeskyttet stålmembran baseret på:

- Minimal iltadgang i jord under vandoverfladen vil reducere korrosion
- Katodisk beskyttelse hvis unacceptabel korrosionshastighed opstår

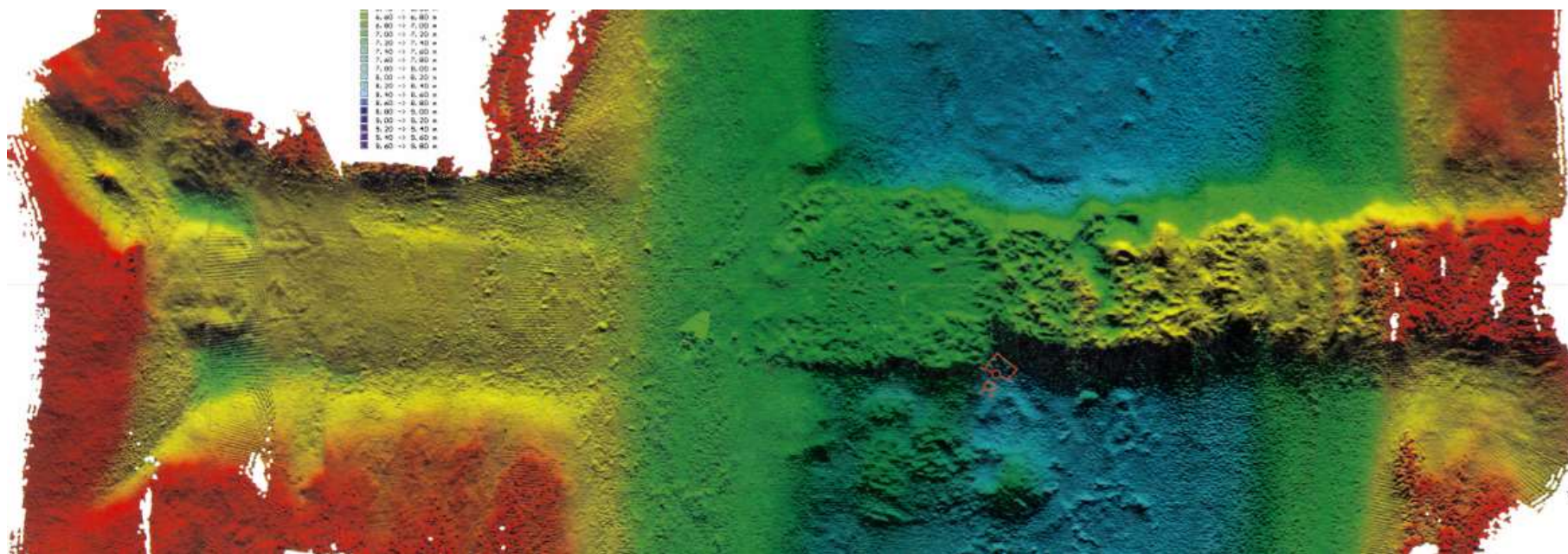
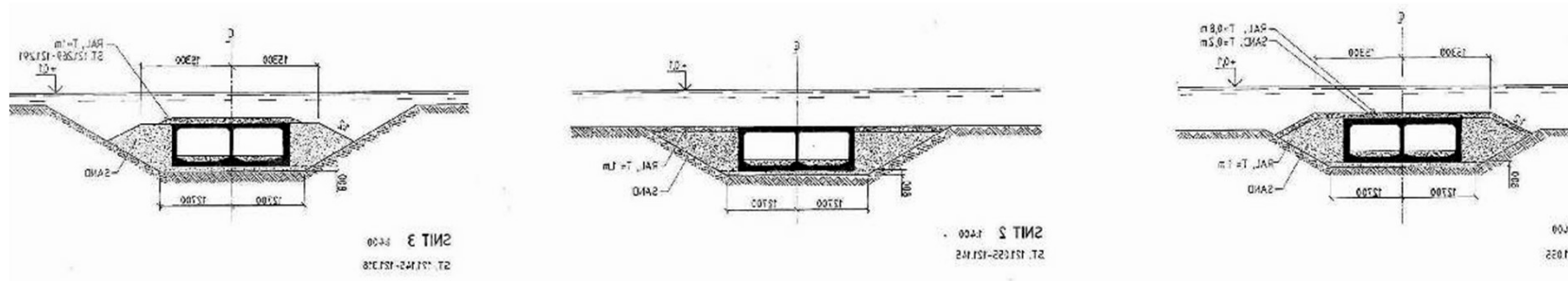


Jordfyld er rent sand med lav risiko for anaerob korrosion

Korrosionshastighed iht. Eurocode: 2,2 mm/100 år (**gennemsnit**)

GULDBORGSUND TUNNEL, STÅL MEMBRAN

Tunnelen er dækket med jord efter udførelsen



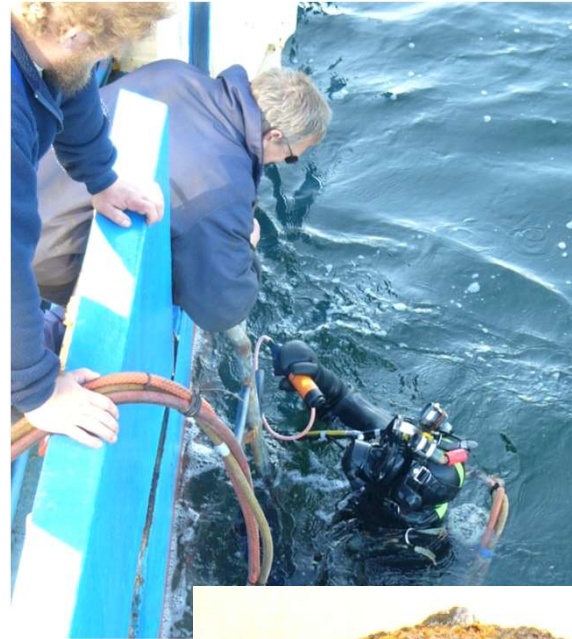


Krævet:
Elektrokemisk potential $< -950 \text{ mV(CU/CUSO}_4\text{)}$
Målt: between -606 og $-660 \text{ mV(CU/CUSO}_4\text{)}$



RAMBOLL

MÅLING AF TYKKELSESTAB



Levetid for stålmembran

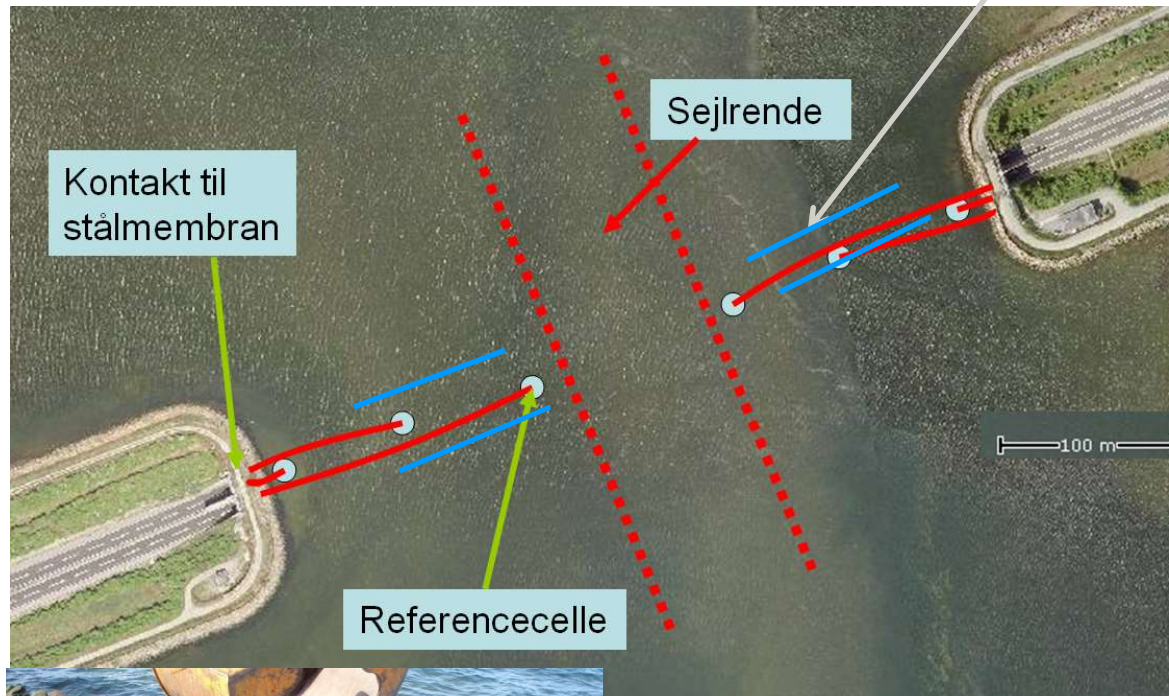
- Målt korrosion efter 16 år: 1 mm
- Tætning af membran vanskelig/umulig
- Korrosionsudvikling usikker
- Katodisk beskyttelse for at sikre levetid

RAMBOLL



GULDBORGSUND TUNNEL, KATODISK BESKYTTELSE

70 m string anode



LEVETIDSFORLÆNGELSE

Årsager til levetidsforlængelse:

- Uventet høj korrosionshastighed
- Levetid længere end forventet

Korrosion udvikles roligt

+

Let at måle



Behov for forebyggende foranstaltninger kan fastlægges præcist

Katodisk beskyttelse



Overfladebehandling



Godstykkelses måling

RAMBOLL

KONKLUSIONER

- Stålkonstruktioner kan ofte opnå 100 års levetid uden vedligehold
- Korrosionstillæg er ofte billigere end korrosionsbeskyttelse
- Lokalt kan der dog kræves problematiske tillæg
- Fastlæggelse af korrosionstillæg kan være vanskeligt så:
 - Korrosionsmiljøet skal fastlægges omhyggeligt, især overgangszoner
 - Anvend Eurocode, piling med forsigtighed – den kan være optimistisk
 - Suppler med andre normer, f.eks. ISO 12944-2, DNV OS J101
 - Inkluder mulighed for inspektion
 - Hav en plan for supplerende korrosionsbeskyttelse



TAK FOR OPMÆRKSOMHEDEN