

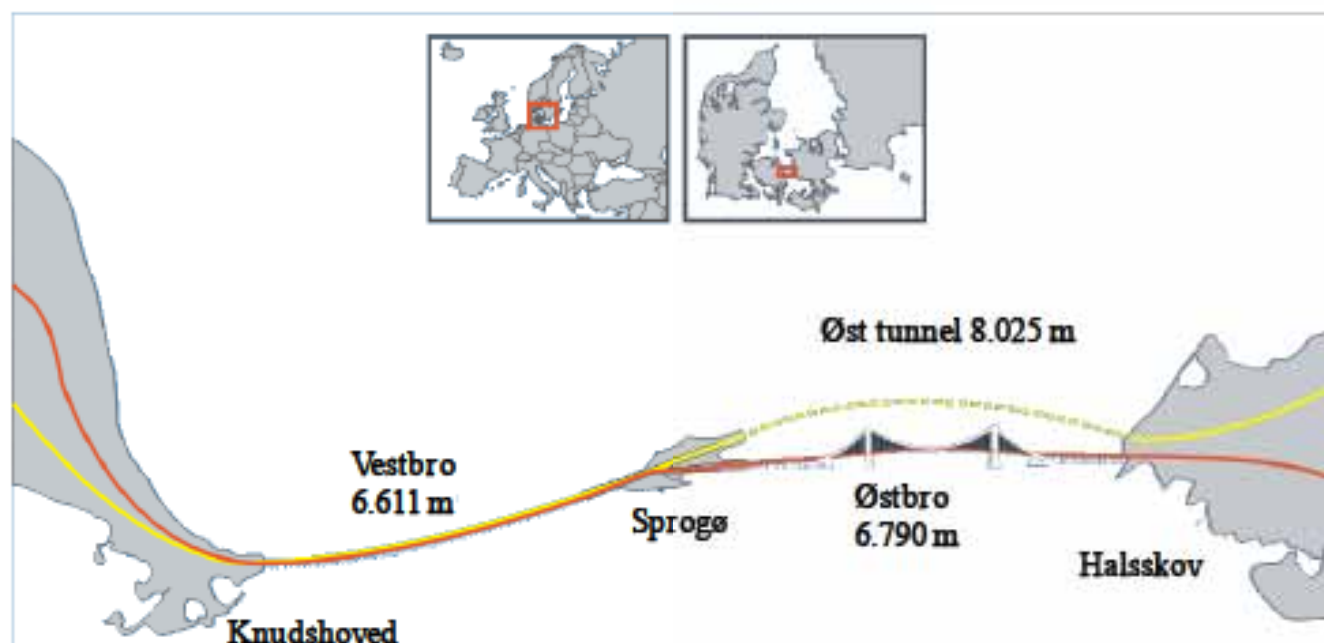
Betonreparation og -renovering
Billund, 20. november 2012

Storebæltsforbindelsen
**Forebyggende vedligehold af
betonkonstruktioner**

Ernst Laursen
Sund & Bælt A/S

Introduktion

- **Fakta**
- **Udvikling af beton til Storebælt**
 - Historik
 - Recepter
- **Holdbarhed**
 - Levetidsmodeller
 - Kloridindtrængning
 - Armeringskorrosion
 - Eksponeringspladser
 - Revner
- **Konklusion**



Betonmængder og overflader



	Projekt	Beton (m ³)	Udv. eksponerede betonoverflader (m ²)
	Vestbro	540.000	450.000
	Østbro	259.000	150.000
	Østtunnel	205.000	250.000
	I alt	1.004.000	850.000

Før Storebælt

- **Basisbetonbeskrivelse og AAB for anlægskonstruktioner**
 - **Frostskader imødegået v. luftindblanding**
 - **Alkalikiselskader imødegået v. ALS cement og ”sunde” bjergarter**
 - **Problem: Kloridindtrængning => Levetid = 50 år**

Storebælt

- **100 års levetid**
- **Ekspertgruppe nedsat i 1987**
- **Forsinke kloridindtrængning – tættere beton**
 - **Lavt vand/cementtal 0,35 (betonen er selvudtørrende => kloridindtrængning bremses)**
 - **Tilsætning af flyveaske og microsilica (binder klorider)**

Materialer	West Bridge			East Tunnel					East Bridge				
	(calsons)			segments	In situ	cross	piers & collars	posttensioned	precast	profil.	precast	profil.	mass concrete
kg/m ³	type A	type B	modif. B	type A1	type A2	type 1B	type B1	modif. B1	type A	type A	type B	type B	ballast
Cement	328	335	340	335	315	315	315	311	315	320	310	310	250
Flyash	40	40	75	41	60	60	40	69	40	47	38	47	110
Microsilica	20	20	20	21	20	20	15	20	23,5	20	19	19	21
Water	131	133	155	131	125	133	161	140	130	133	135	138	137
Air entrainer	1,7	1,7	1,7	–	0,3	0,27	0,28	0,27	1,5	1,4	0,6	1	0,6
Plastics	1	1	1	0,6	1,6	1,6	1,5	2	1,5	1,6	1	1,6	1,2
Superplast.	8,8	8,8	5,7	1,8	5,5	5,9	3,3	4 + 4	5	7,6	3,5	6,0	1,2
Adm. adm.								1,2					
Sand 0-2	294	287	231	537	571	579	685	587	575	618	575	612	545
Sand 0-8	431	431	540										
Stone 2-8				–	280	281	128	252	450	396	450	397	445
Stone 8-16	448	448	366	1420	370	962	961	970	478	476	480	477	475
Stone 16-25									347	336	340	337	336
Stone 16-32	630	630	552	–	600	–	–	–					
Air (vol. %)	6	6	6	0,8	6	5	5	5					
Density	2323	2325	2280	2485	2341	2350	2305	2351	2340	2346	2348	2338	2319

Typisk beton recept (type A og B)

- Cement 310 – 340 kg/m³
- Flyveaske 40 – 60 kg/m³
- Microsilica ca. 20 kg/m³
- Vand 130 – 140 kg/m³
- V/C 0,35 – 0,40
- Luftindhold 6%

Desuden diverse additiver såsom

- Plastificering og superplastificering

Beton densitet 2300 – 2400 kg/m³

<u>Konstruktion</u>	<u>Betontype</u>	<u>Dæklag</u>
VESTBRO Caissoner	A	50 mm
Pilleskafter	A	75 mm udvendig 50 mm indvendig
Brodrager	B	50 mm udvendig 35 mm indvendig
Østbro Caissoner	B	50 mm
Pilleskafter	A	75 mm udvendig 50 mm indvendig
Pyloner (til kote +21)	A	75 mm udvendig
Pyloner (over kote +21)	B	50 mm indvendig
Ankerblokke	A	75 mm
Tunnel	A	35 mm

Undersøgelse af betonens Holdbarhed igangsat i 2004 og omfattede

- Etablering af levetidsmodeller
- Undersøgelse af
 - Kloridindtrængning
 - Armeringskorrosion
- Eksponeringspladser
- Revner

Nedbrydningsmekanismer

- Primære nedbrydningsmekanismer
 - Kloridindtrængning og armeringskorrosion
 - Frost
- Sekundære nedbrydningsmekanismer
 - Sulfatangreb
 - Karbonatisering
 - Alkalisk-silica reaktioner
- Levetid = initieringstid (klorid > 0,1% betonvægten)

Konstruktion	AKR	Frost	Sulfat	Korrosion	
				Klorid	Karbo.
Konstruktion under kote ca. -2,0	0	1	1	1	1
Piller mellem kote -2,0 og +2,0	0	3	1	3	1
Piller over kote 2,0	0	1	0	2	1
Brodæk	0	1	0	2	1
Kantbjælker	0	1	0	2	1
AB og Pyl mellem kote -2,0 og +2,0	0	3	1	3	1
AB og Pyl over kote +2,0	0	1	0	2	1
Landfæster	0	0	0	0-1	1
Tunnel	0	0	1	3	1

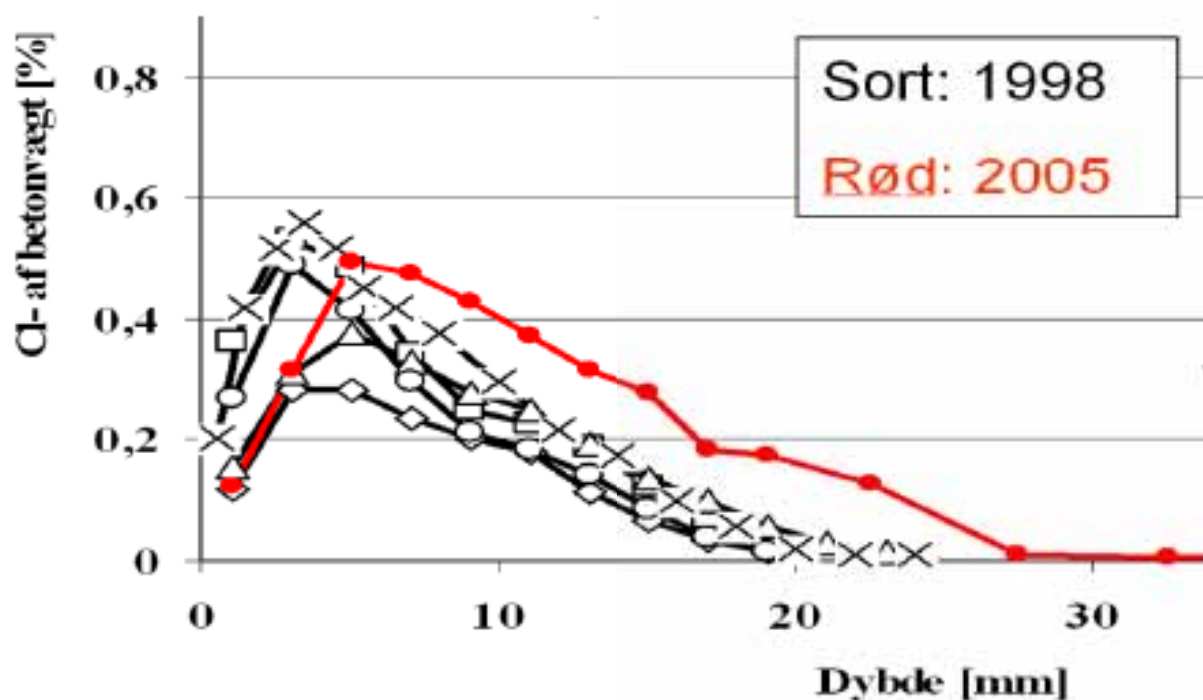
Scala: 0 = ingen risiko; 1 = lille risiko; 2 = nogen risiko; 3 = stor risiko



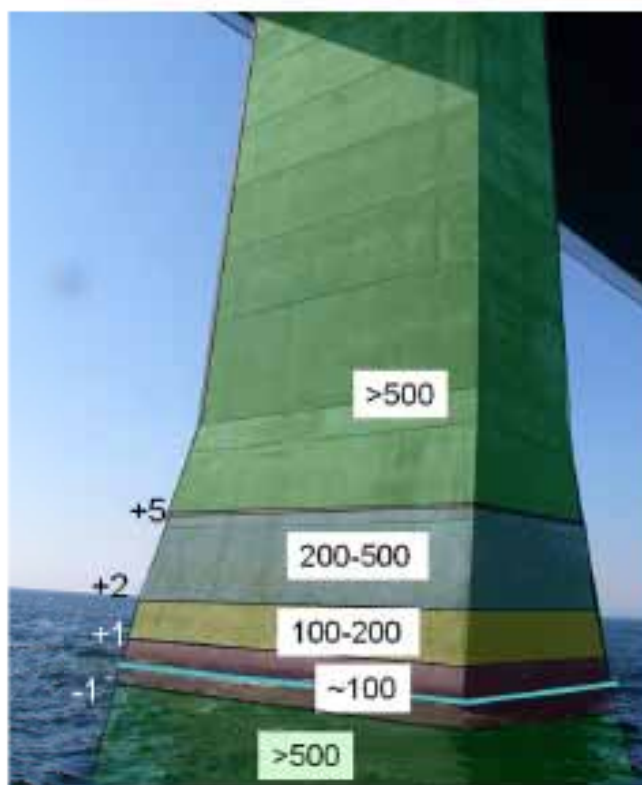
Ø100mm kerner

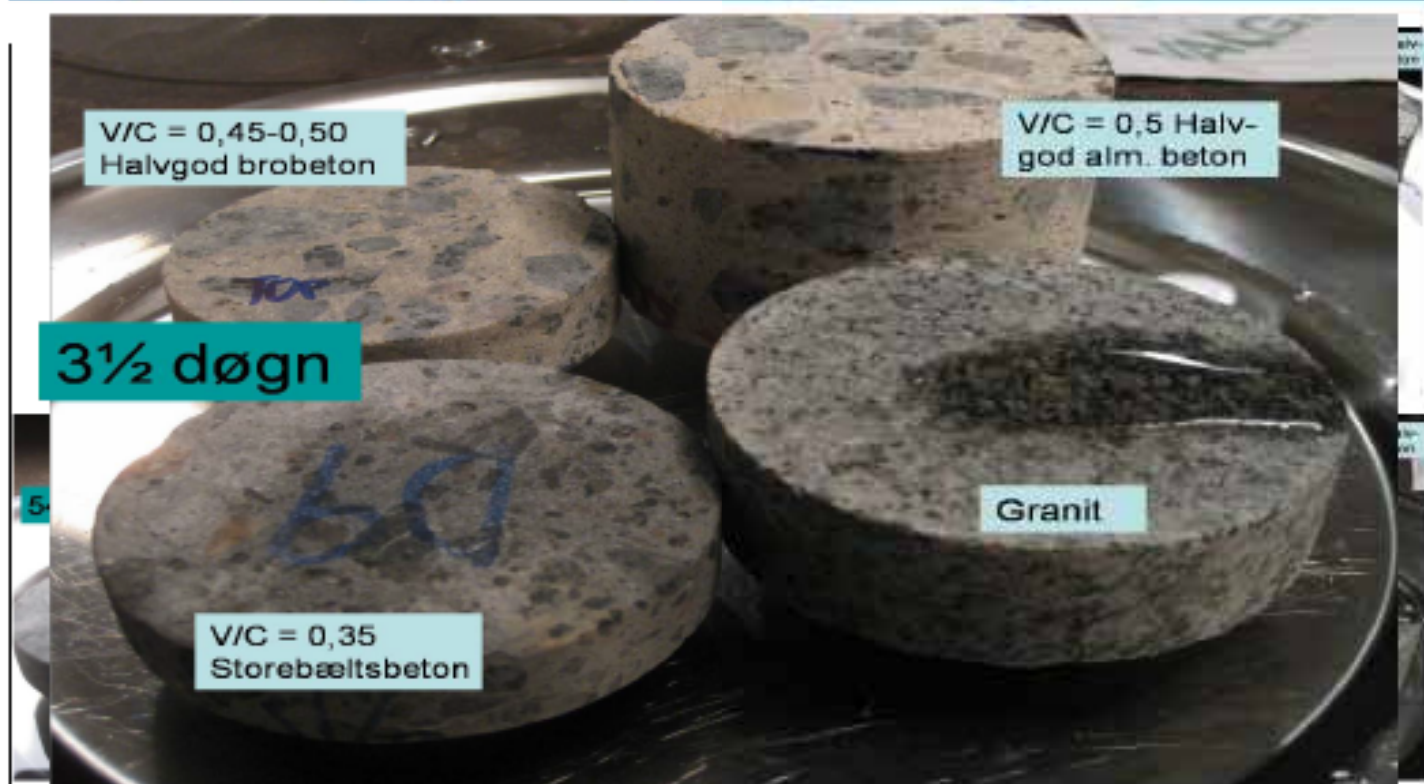
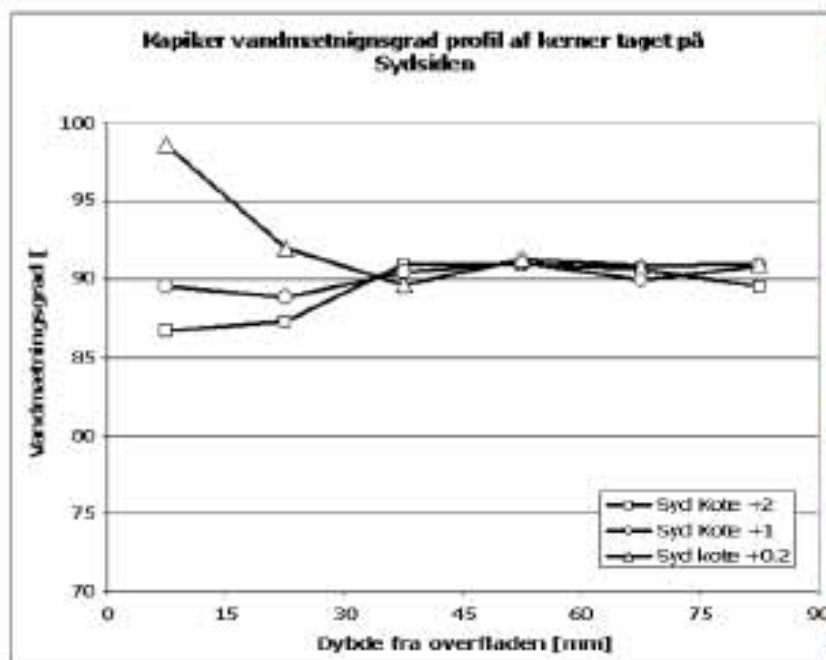
- Udfræsning af kloridprøver
- Kloridindhold målt ved RTC-metode

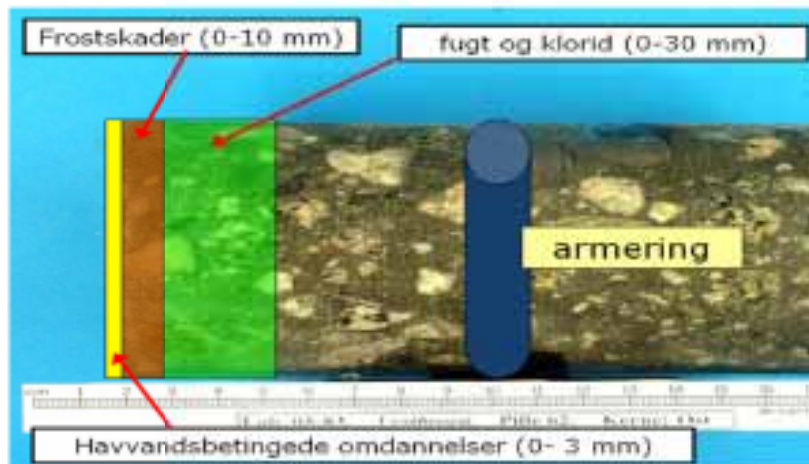




Beregnet tid (år) for
korrosionsinitiering
på Vestbro og
Østbro piller







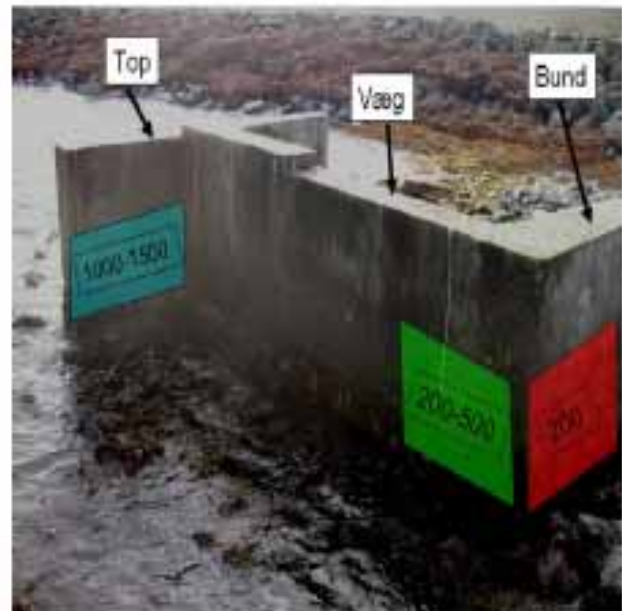
**Vestbro beton v.
Knudshoved**

**Østbro beton v.
Halsskov**



■ Resultat af undersøgelser 2005

- Ingen arm. korrosion (dæklag 35-78mm)
- Ingen kritisk vandmætning (fugt 3-4%)
- Luftindhold højt til normalt
- Ingen frost-tø påvirkninger
- Kloridindtrængning 15-20mm. (I bropillernes splash zone 25-30mm)
- Levetid 200-1500 år

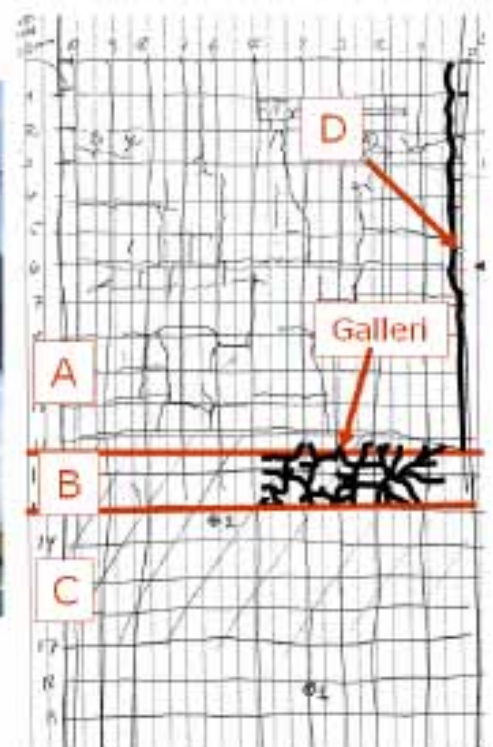
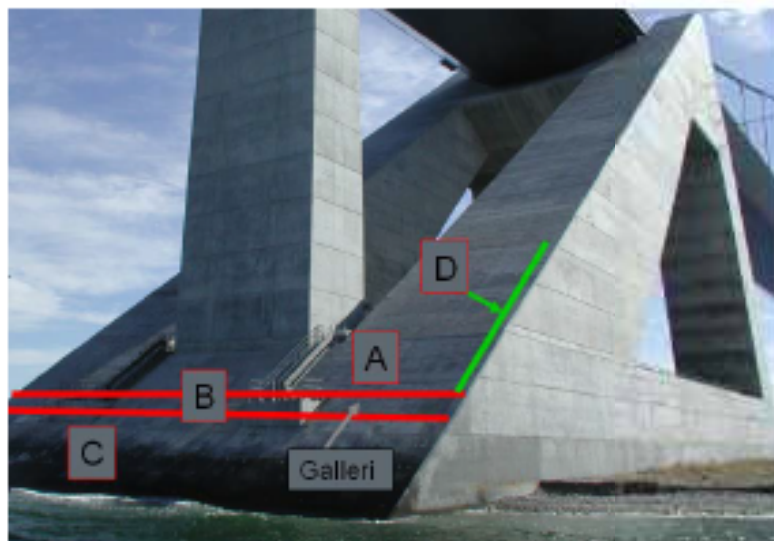


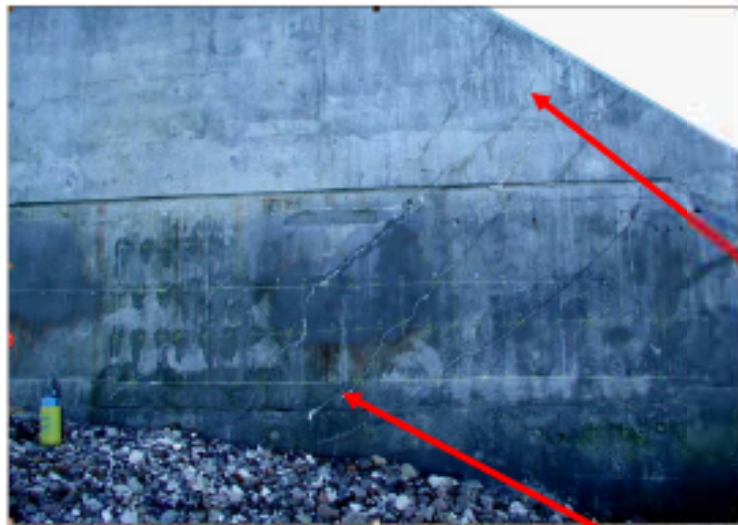
Netrevner

Termorevner

Statiske revner

Revner i støbeskel





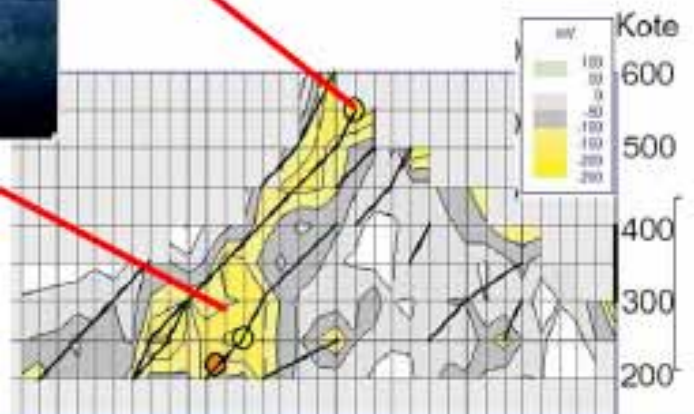
EKP-måling:

Korrosionstegn i revner

Udtagning af borekerner i revner

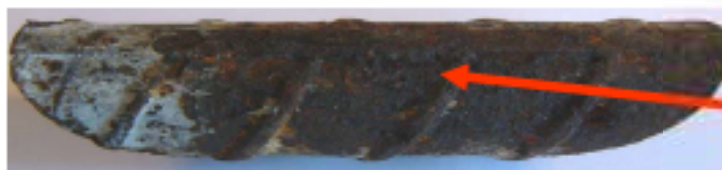
Borekerner

- Let overflade korrosion
- Tydelig korrosion



Armeringskorrosion – revne på tværs af armering

I revner på tværs af armeringen aftager kloridkoncentrationen indad i revnen

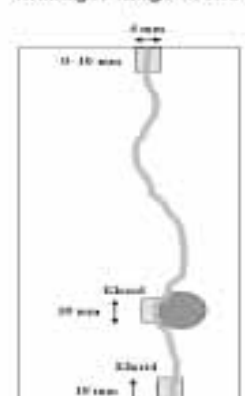


Storebælt, korrosionsstart

Storebælt, videre korrosion

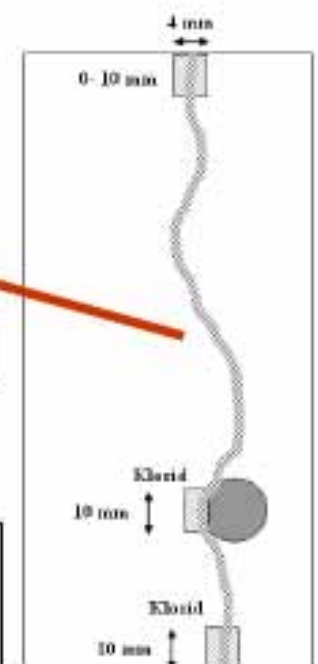
Svækkelsen af armeringen er $< 1\%$

Målinger lange revne



Revne langs
armering,
kloridophobning
ved armering

Målinger langs revne



Før afrensning

Efter afrensning:
svækkelse <1% efter
17 år

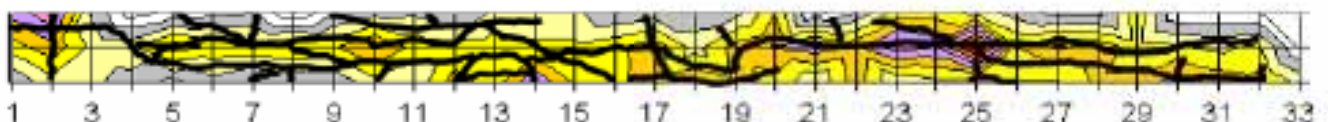


Korrosionsudviklingen i revner 2003-2008

2002



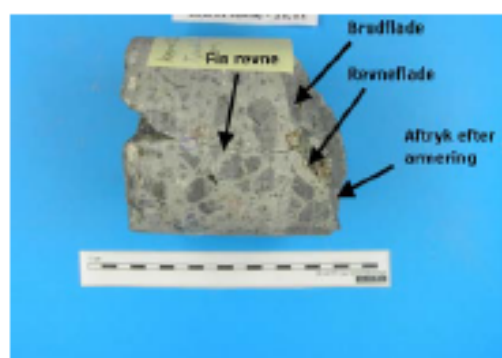
2008 EKP-måling: Næsten ingen nye korrosionsområder



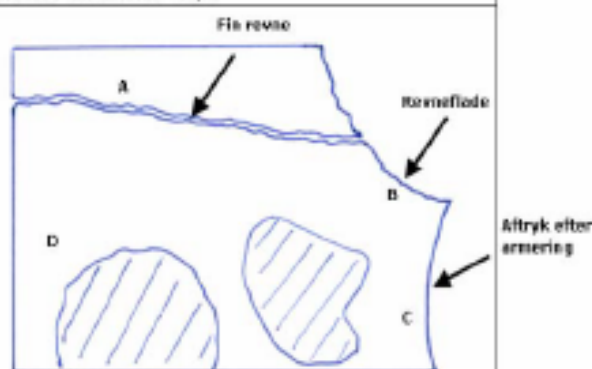
Øvrige vurderinger af korrosionsudvikling 2003-2008:

- Ingen tydelig udvikling af potentialgradienter
- Ingen tydelig udvikling af armeringssvækkelse

Konklusion: Ikke akut udbedringsbehov, udviklingen overvåges



arne nrk. "lodret revne - 21,21"



Resultater fra lab. analyser:

- Revner er gamle
- Karbonatisering v. armering
- Fugtpåvirkning v. armering
- Ingen ætsninger el. rustudfældninger
- Ingen revneheling



Langsom korrosionsudvikling

Lille risiko for grubetæring

Men

Klorider ophobes fortsat

Sammenfatning af revneproblematik

Indikationer på langsom korrosionsudvikling ved

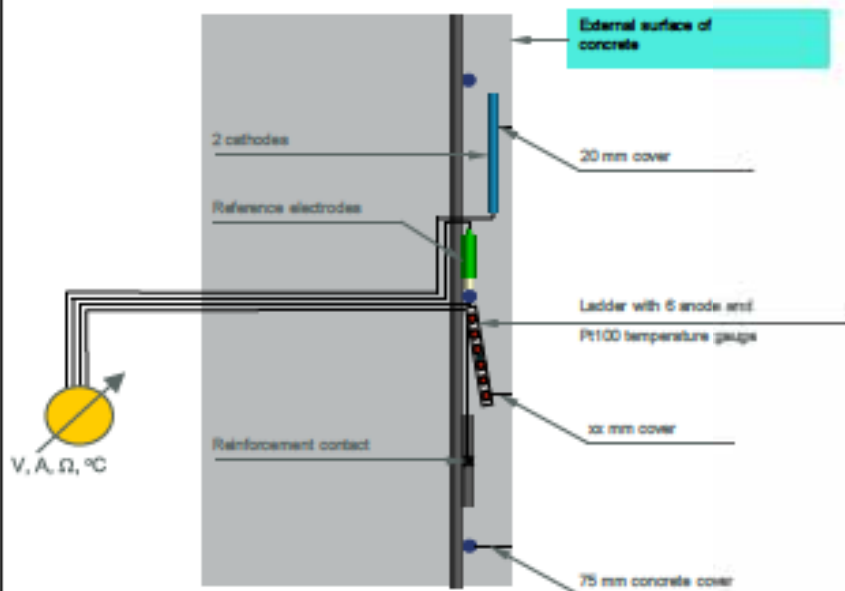
- Frihugning og korrosionsmålinger 5 års interval
- Analyser af korrosionsmiljø i betonen
- Måling på korrosionssensorer



Overvågning af udviklingen ved

- Inspektion 5 års intervaller
- Måling på korrosionshastighedssensorer
- Måling på tværsnitsreduktionssensorer
- + evt. forebyggelse på de mest udsatte områder

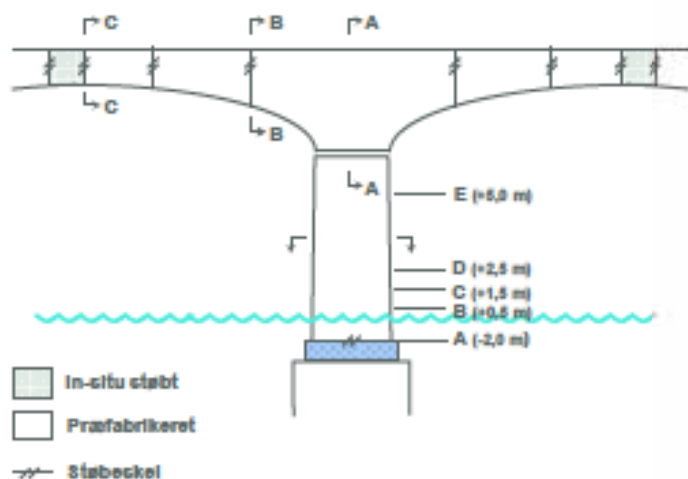
- Vestbro 180 sensorer
- Østbro 42 -/-
- Tunnel 224 -/-



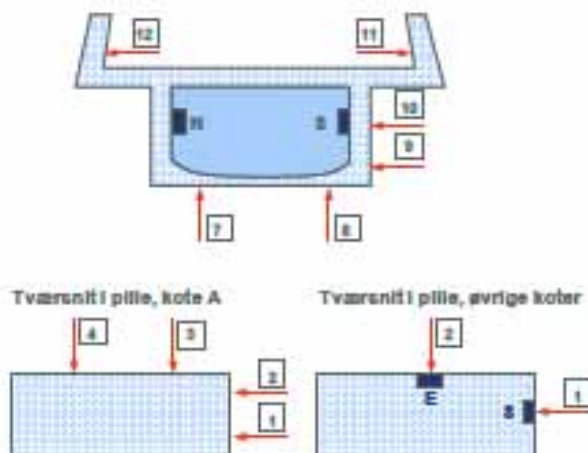
CMS – WEST BRIDGE (180 sensores)



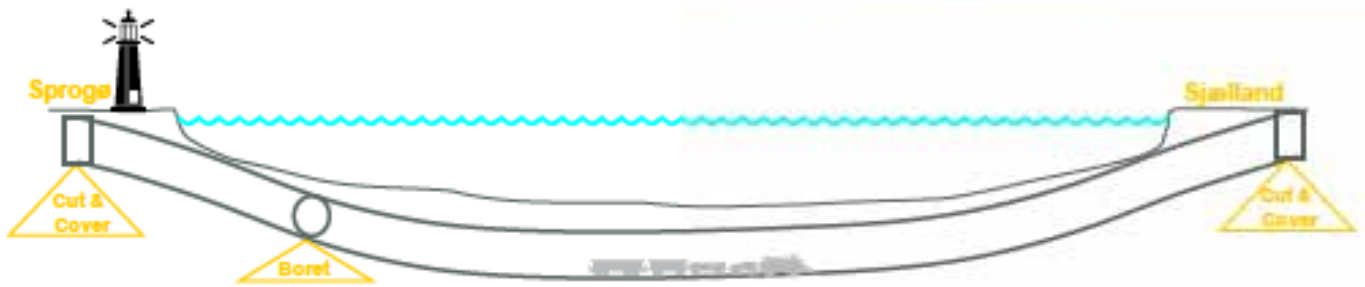
Pille 08, (14)16 og 27



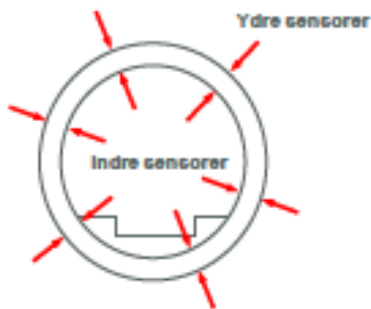
Vejdrager, tværsnit A, B og C



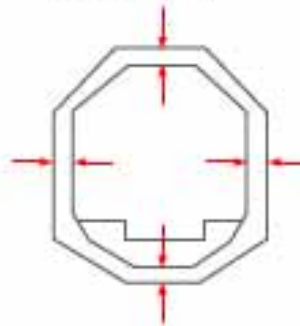
CMS – TUNNELS (224 Sensors)



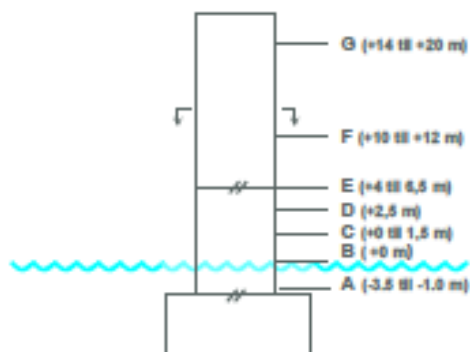
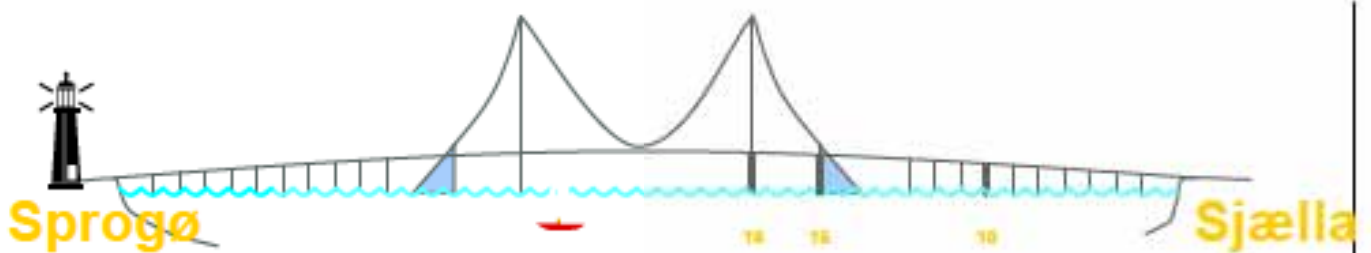
Boret tunnel, 2 x 8 ringe –
Inder- og yderside



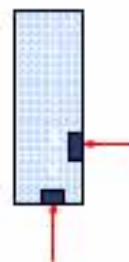
Cut & Cover tunnel, 2 x 2 pløerter –
Inder og yderside

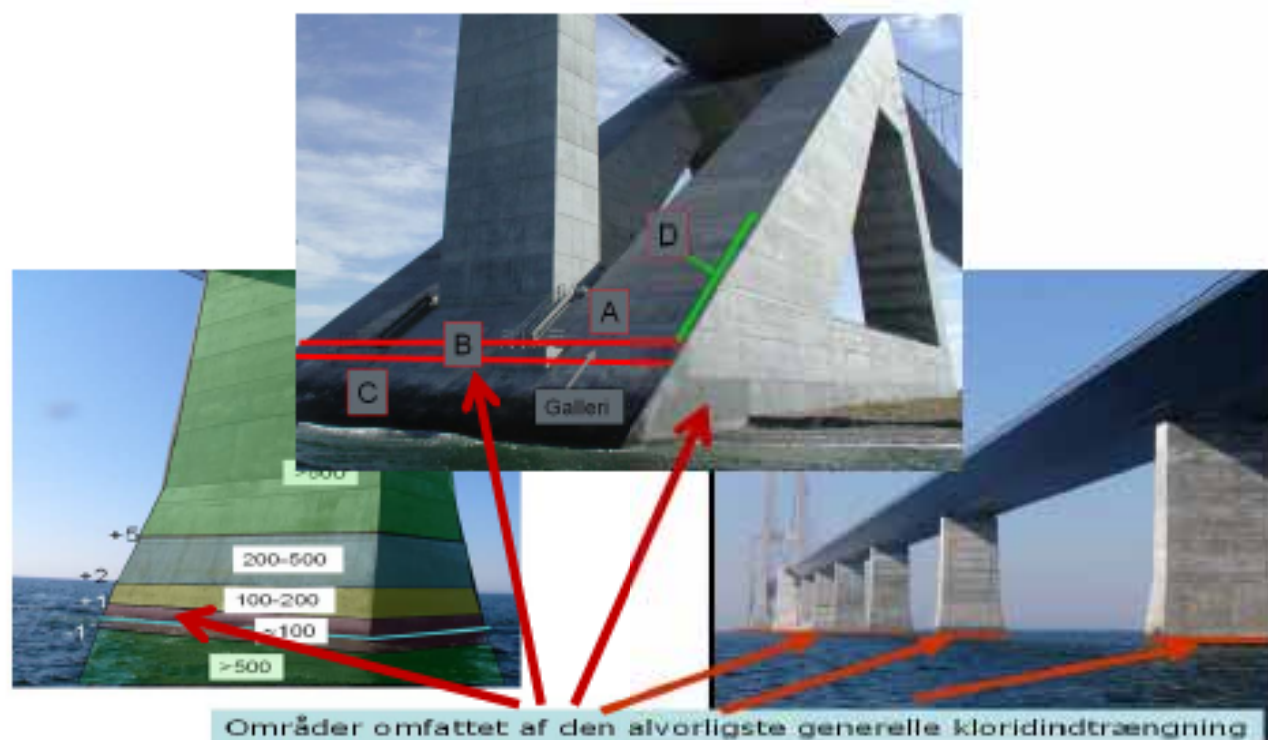


CMS – EAST BRIDGE (42 Sensors)



Tværsnit alle koter





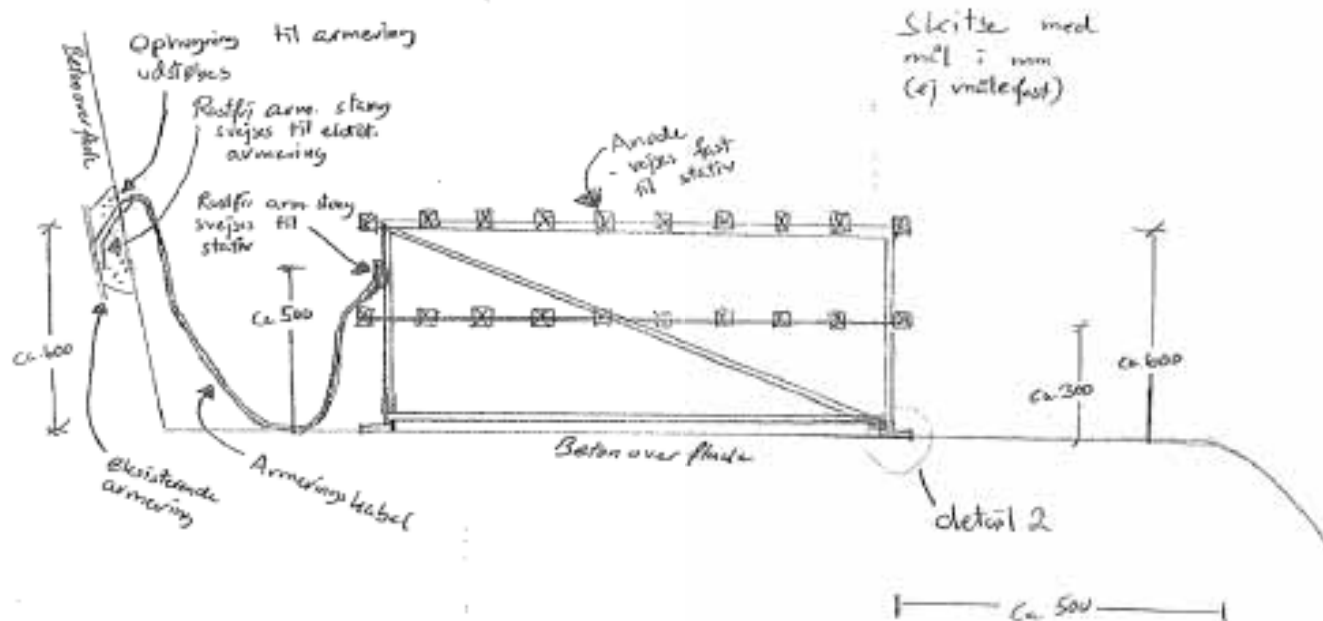
Konklusion

- 100 års levetid er opnået
- Storebæltetsbetonen er ekstrem
 - Vanskelig og tidskrævende udstøbning – men vi har fået en -
 - Tæt beton
- Beregnet levetid er måske konservativ
 - Kritisk kloridindhold er fastsat til $< 0,1\%$. Anvendes et kritisk kloridindhold $< 0,15\%$ fås en levetid på ca 150 år
 - Vandmætning sker langsomt => måske langsommere kloridindtrængning => længere levetid
- Ved rettidig forebyggende foranstaltninger kan levetiden forlænges betydeligt - måske 4-500 år
- Erfaringerne fra prøveblokkene indikerer at såfremt udførelsen af betonarbejdet optimeres kan der med en lempeligere betonrecept fortsat opnås levetider på > 100 år





Ostbro – Katodisk beskyttelse
Zinkanoder



A/S Storebælt
Østbroen - Underbygning
Etablering af katodisk beskyttelse ved bropiller

Skitse 2: Anodestativ - Kabelforbindelse til armering

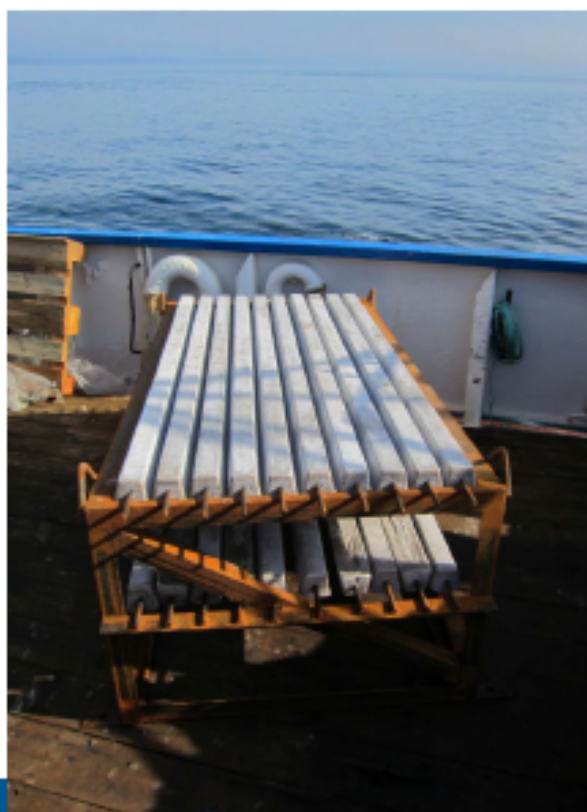
29. juli 2011



Ostbro – Katodisk beskyttelse Omfang

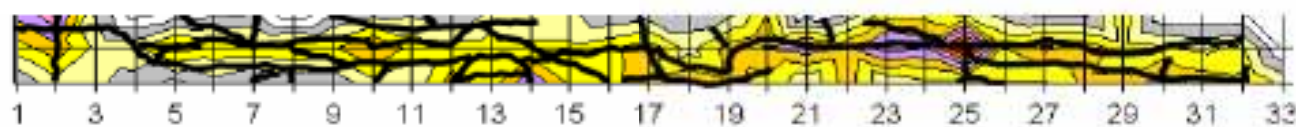
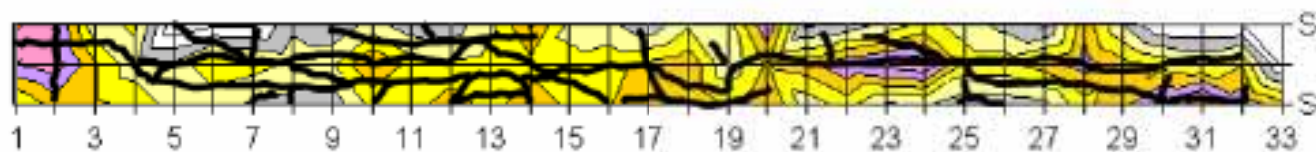


Ostbro – Katodisk beskyttelse Zinkanoder



Acrylbelægning

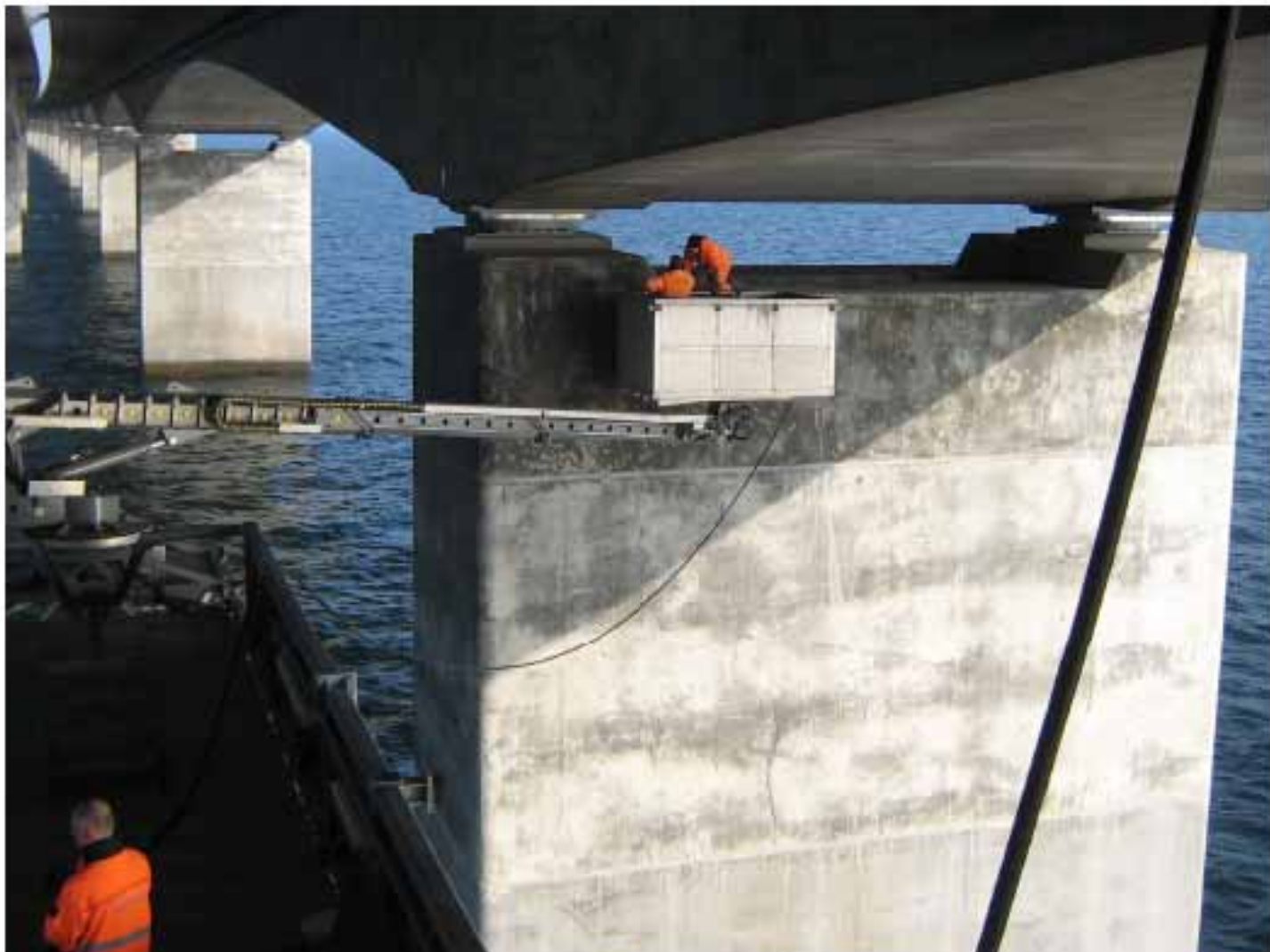




Monitoring Systems for structural behaviour

- GPS monitoring of movements
- Corrosion monitoring (CMS)
- Geotechnical monitoring of anchor block movements
- Movement of bridge bearings
- Movements and pressure of hydraulic buffers
- Control of tuned mass dampers
- Statical data (stresses, accelerations etc.)
- Dehumidification inside bridge structures
- Control of heating in drainage systems
- Metrological data (wind, temperature, precipitation etc.)
- Access control (doors, gates etc.)

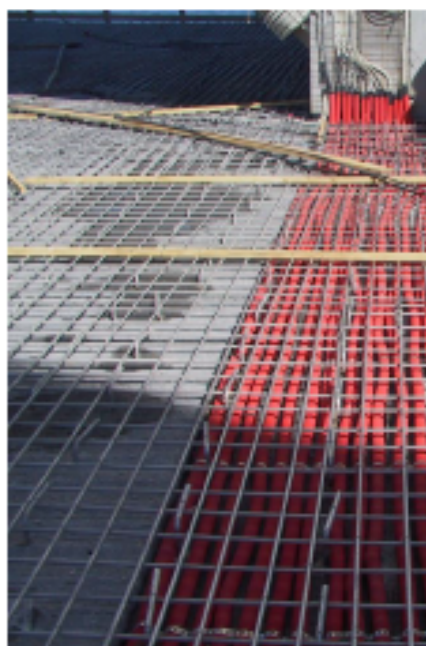




Reparationsprojekt

Storebælt
Sund Æ Bælt

Rustfri armering



- **Electronic Management Systems**
- **Adaptive Inspection Plans**
- **Monitoring Systems**
- **O&M Index**
- **Benchmarking**

Færdigt arbejde





Inspections - General

Routine Inspection

2 year interval


General Inspection


5-6 year interval

Specifik Inspection

When determined by
routine or general
inspection



- 
- Adaptive inspection plans are implemented
 - Inspection is tailored to expected remaining lifetime (time to repair or preventive action)
 - Inspection ranges from superficial (90-95% of the structures with lifetime > 100 years) to closely monitoring and inspection (0-5% of the structures where preventive action is expected within 20 years) – i.e. inspection were necessary
 - Lifetime models are continuously updated to ensure that critical parts are monitored closely – and subsequently that non-critical parts are only monitored superficially

- 
- Lifetime models for concrete structural parts are implemented and continuously analysed
 - Lifetime models are calibrated using inspection results, laboratory analysis and output from monitoring systems
 - Lifetime models are used to adjust frequency and detail of the inspection plan
 - To ensure optimal maintenance (minimize inspection cost & maximize quality)

Inspection Platform – Bridge girder

Storebælt
Sund & Bælt



East Bridge – Maincable Carrier

Storebælt
Sund & Bælt



East Bridge - Abseiling

Storebælt
Sund Æ Bælt



Inspection Platform – Bridge girder

Storebælt
Sund Æ Bælt



Repair works from Skyclimber

Storebælt
Sund Æ Bælt



Inspection Platform – Bridge girder

Storebælt
Sund Æ Bælt



East Bridge – Maincable Carrier

Storebælt
Sund Æ Bælt



East Bridge – Skyclimber

Storebælt
Sund Æ Bælt



East Bridge – Skyclimber

Storebælt
Sund & Bælt



Tak for opmærksomheden

Storebælt
Sund & Bælt





