

SPECIELLE UDFORDRINGER OG ERFARINGER MED STÅL

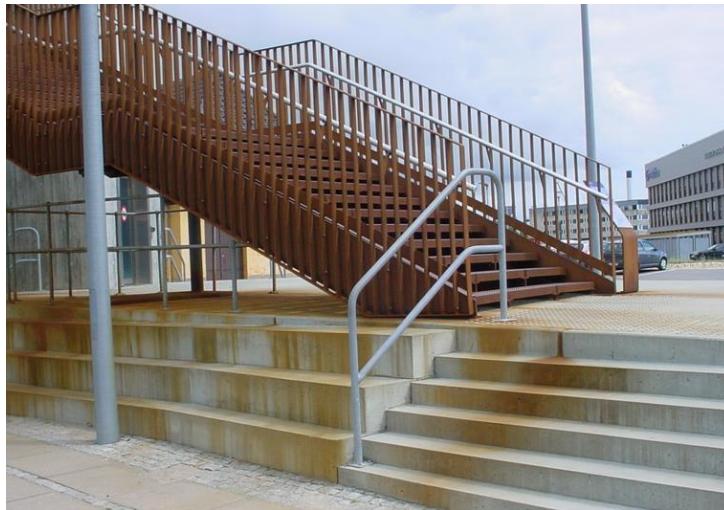
DANSK
STÅLDAG
2024

RAMBOLL

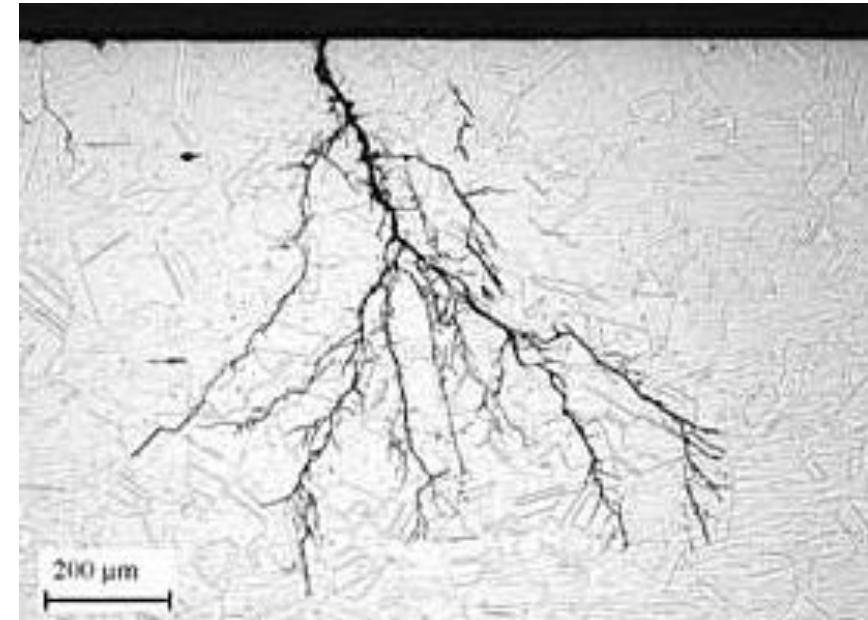


SPECIELLE UDFORDRINGER OG ERFARINGER MED STÅL

- Korrosion
- CorTen-stål
- Malet stål – vigtige ting at overveje
- Rustfrit stål – fælder/spændingskorrosion
- Varmforzinket stål
- Brud (LME, brintskørhed)



RAMBOLL



PER GRUMSEN (PEG)

Originally educated as marine engineer

1983 - 2012:

THE DANISH CORROSION CENTRE/FORCE TECHNOLOGY

MATERIALS AND ANALYSIS/CORROSION AND METALLURGY, ESBJERG

2012 - ?:

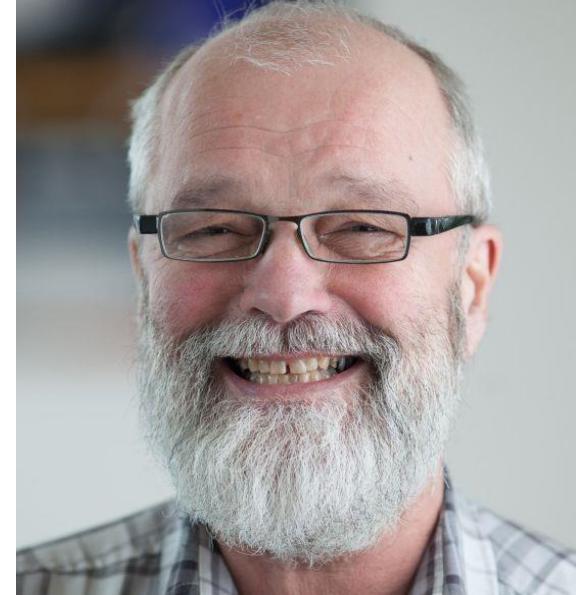
RAMBOLL ENERGY, ESBJERG

PIPING, MECHANICAL AND LAYOUT

PEG@RAMBOLL.COM

RAMBOLL

Tlf. 51 61 76 32



PEG - WORKING AREAS AT RAMBOLL ENERGY

- Material selection
- Failure investigation and analysis (corrosion, wear etc.) and breakdowns (e.g. diesel engines, gears, pumps, leaking pipes and hoses etc.)
- Examination of defects originating from manufacturing and fabrication (casting defects, forging defects, welding defects etc.)
- Metallurgical examinations
- Cracks/fractures
- NDE-methods
- Corrosion problems and –prevention
- Surface treatment spec. (painting systems, hot galvanizing etc., inspection of surface treatment)
- Jobs as expert appointed by the court
- Lunch talks/courses

KORROSION

KORROSION KOSTER!!

Artikel i bladet Ingeniøren (2010):

Omkostninger: ca. 7% af BNP i Danmark:

- ca. 126.000.000.000 kr. pr. år.
- 1/3 ikke økonomisk at forebygge
- 1/3 kan undgås ved udvikling
- 1/3 kan undgås ved videnformidling



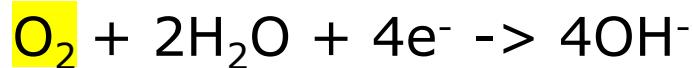
KORROSION KRÆVER

1. Vand

- i atmosfæren min. 60% RH (rel.)

2. En katodeproces

- som regel iltreduktion:



VED SYRER



MILJØET INFLUERER PÅ KORROSION

Korrosionen forstærkes af:

- Luftforurening, by- og industriatmosfære
- **Klorider, marin atmosfære**
- Snavs og fugtsugende salte
- Påvirkning fra syrer og korrosive kemikalier
- **Kontakt med ædlere metaller (galvanisk korrosion)**
- **Mekanisk påvirkning/slid**
- Strømningshastighed
- **Mekaniske spændinger**

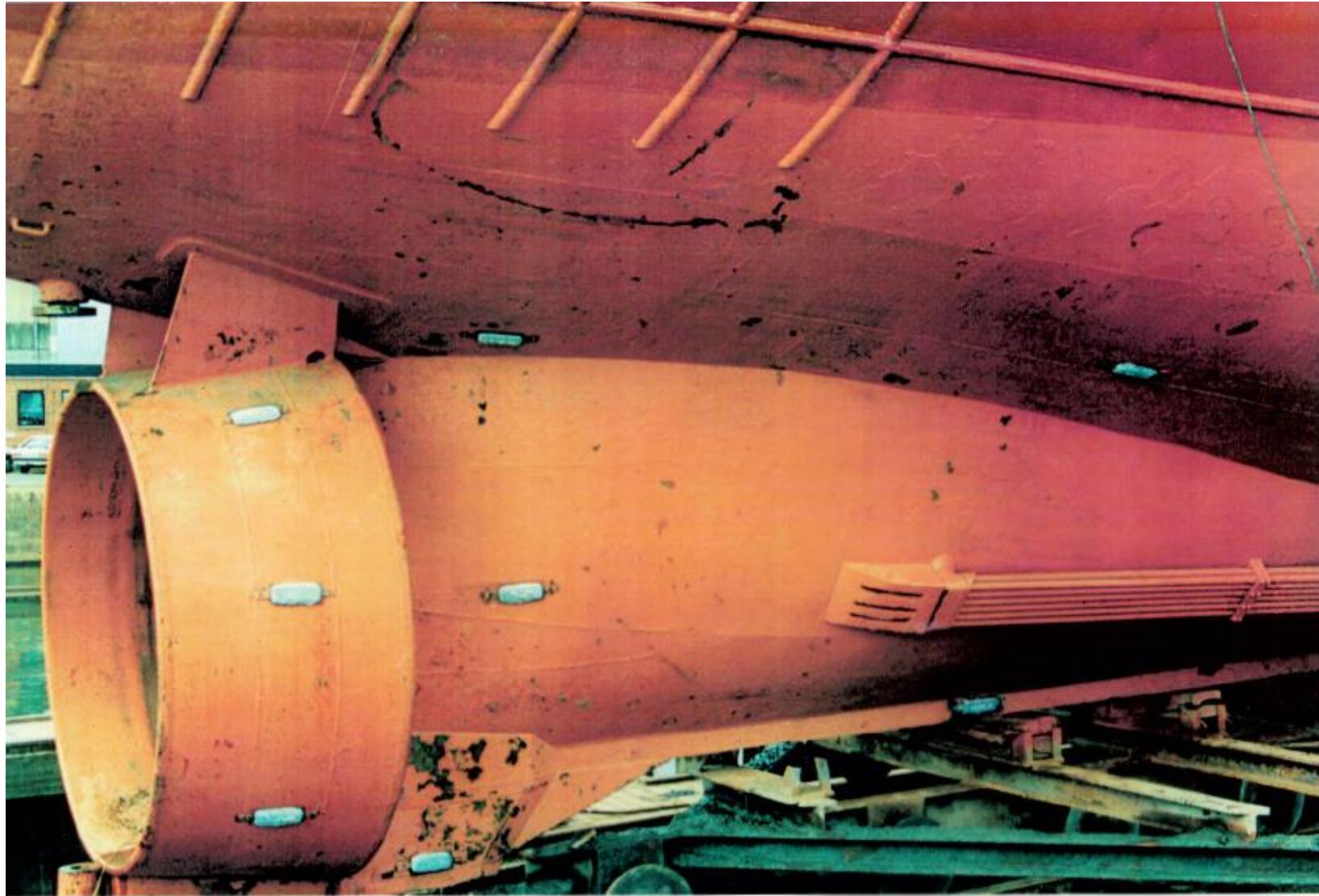
GALVANISK SERIE I HAVVAND

Uædle

- Magnesium + legeringer
- Zink
- Aluminium 1100
- Cadmium
- Aluminium 2024
- Stål, støbejern
- Ni-resist
- Rustfr. stål 13%Cr (aktivt)
- Rustfr. stål 18/8-18/10/2 (aktivt)
- Bly, tin
- Nikkel (aktivt), Inconel (aktivt)
- Hastalloy B
- Messing, kobber, bronze, Cu-Ni
- Nikkel (passiv), Inconel (passiv)
- Rustfr. Stål 13,18/8,18/10/2 (passiv)
- Sølv
- Titan
- Grafit, guld, platin

Ædle

Katodisk beskyttelse



Galvanisk korrosion

Overbordledning for
havvand på
olieplatform.
254 SMO bøjning
(rustfrit stål) koblet
til ulegeret stålrør



Galvanisk korrosion

Rustfri kabelbakke – ligger an imod malet ulegeret stål. Skader i maling ved bolte – spalter mellem rustfrit stål og ulegeret stål.



Galvanisk korrosion

Rustfri kabelbakke – ligger an imod malet ulegeret stål. Skader i maling ved bolte – spalter mellem rustfrit stål og ulegeret stål.



KORROSIONSFOREBYGGELSE

Generelt kan man hindre eller begrænse korrosion gennem:

- **Fornuftig konstruktiv udformning**
- **Materialevalg**
- **Maling, coating (isolere materialet fra omgivelserne)**
- **Inhibitorer**
- **Katodisk beskyttelse (offeranoder, påtrykt strøm)**
- **Affugtning (RH<60%)**

KORROSIONSBESKYTTELSE GENEREKT I BYGGERIET - PAS PÅ MED:

SPALTER/TILDÆKNING

- KONDENS (KULDEBRO)

- SALTE, DER IKKE
VASKES AF - AF
REGN



RAMBOLL



DESIGN

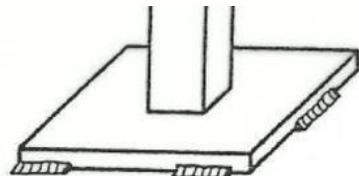
**BRO OVER JERNBANE – VEDLIGEHOLD NØDVENDIGT GENTAGNE
GANGE – EL-LEDNINGER I VEJEN HVER GANG (NATARBEJDE –
AFLYSTE TOG).**



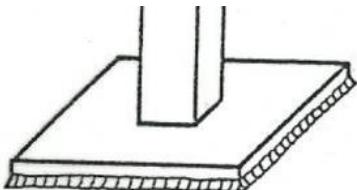
RAMBOLL

DESIGN

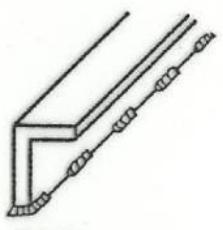
Undgå korrosion



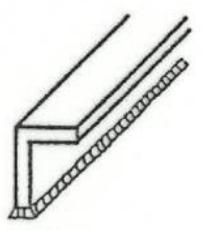
Dårlig



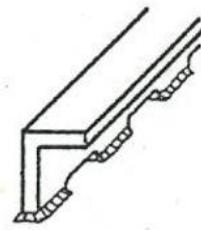
God



Dårlig



God



God

Detaljer i konstruktioner

Rust fra spalter ved afbrudte
svejsesømme og mellem flanger



KONSTRUKTIV UDFORMNING

Så galt kan det vel heller ikke være ??



Jo – det kan !! 😊



Kan maling holde ??????

RAMBOLL

Detaljer i konstruktioner

Vandansamlinger på helt nyt
dæk på transformerstation –
afløb placeret for højt ☹

Kan malingssystem holde ??
(ikke beregnet til
kontinuerlig vandpåvirkning)



DESIGN

**SKULPTUR -
(ROBERT
JACOBSEN)**

**ESBJERG
KUNSTMUSEUM**

RAMBOLL



DESIGN

**SKULPTUR -
(ROBERT
JACOBSEN)**



RAMBOLL



DESIGN

**SKULPTUR -
(ROBERT
JACOBSEN)**

**I DAG -
SANDBLÆST,
SPARTLET OG
MALET**

RAMBOLL



CORTEN-STÅL ER IGEN BLEVET MEGET MODERNE !! LANDGANGEN – FORBINDER ESBJERG BY OG – HAVN



RAMBOLL

Rustafsmaling på beton - og rustpartikler på biler
parkeret under - eller i nærheden af - broen.

CORTEN-STÅL ER IGEN BLEVET MEGET MODERNE !! LANDGANGEN – FORBINDER ESBJERG BY OG – HAVN



RAMBOLL

LANDGANGEN – FORBINDER ESBJERG BY OG – HAVN



RAMBOLL

CORTENSTÅL - GYMNASIEBYGNING

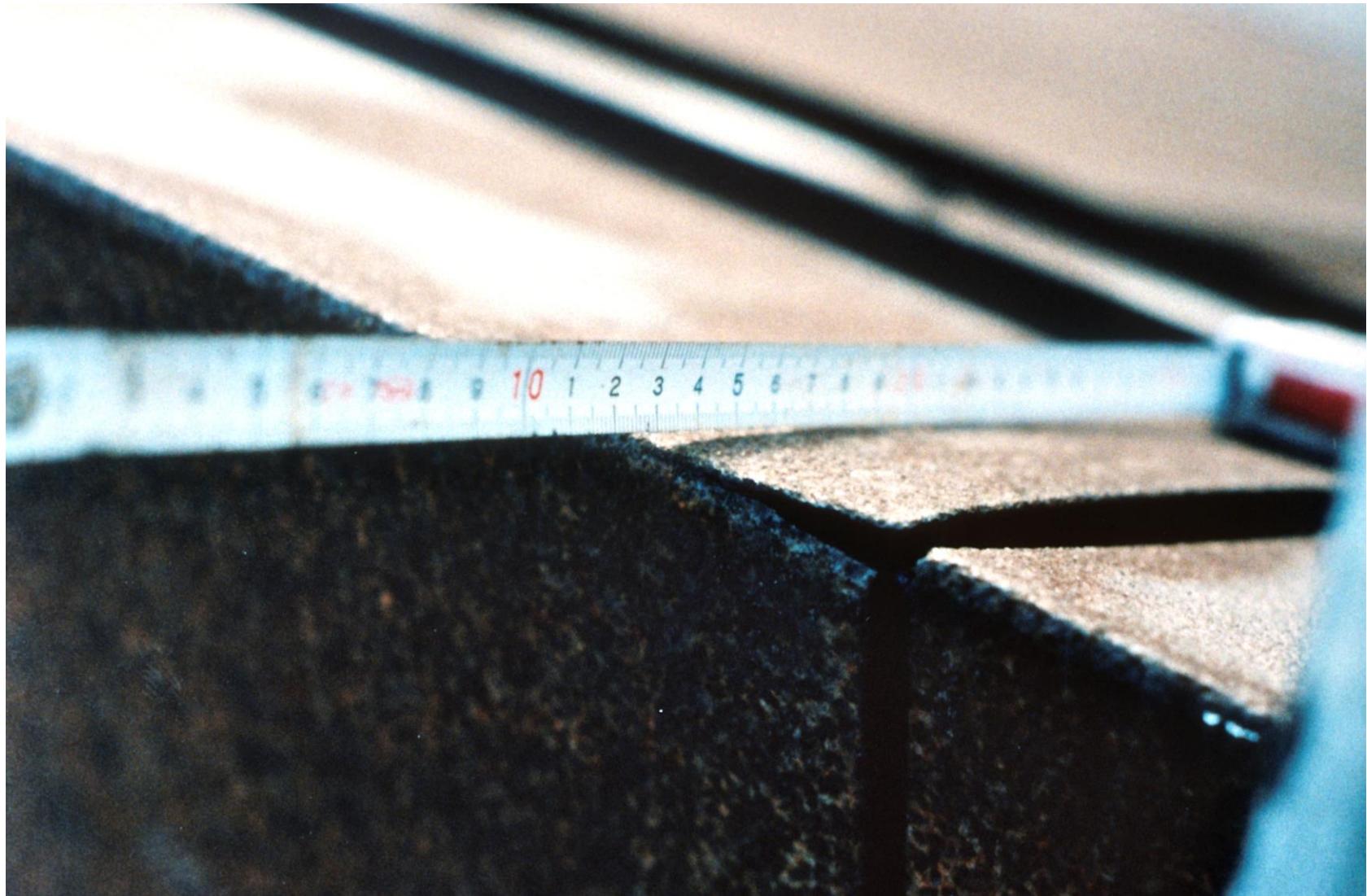


RAMBOLL

Gymnasium med tag, tagrender og nedløbsrør i CorTen-stål.

Tag utæt efter få år.

CORTENSTÅL



RAMBOLL

Rygning i CorTen-stål. Spalter med ansamling af vand =>
kraftig korrosion => brud i plader

CORTENSTÅL

Tagrende i CorTen-stål.

Rustpartikler + ansamling af vand

=> kraftig korrosion =>

utætte tagrender



CORTENSTÅL

Nedløbsrør i CorTen-stål.

Nedsivende vand

=> kraftig korrosion =>

utætte nedløbsrør.

Flere rør erstattet af

orange PVC kloakrør ☺



KORROSIONSFOREBYGGELSE

Generelt kan man hindre eller begrænse korrosion gennem:

- **Fornuftig konstruktiv udformning**
- **Materialevalg**
- **Maling, coating (isolere materialet fra omgivelserne)**
- **Inhibitorer**
- **Katodisk beskyttelse (offeranoder, påtrykt strøm)**
- **Affugtning (RH<60%)**

KORR. KAT. C4 HØJ SPECIFICERET MHT. OVERFLADEBEHANDLING – 1 ÅRS GENNEMGANG

Overfladebehandling
specifieret iht.
C4 – høj (ca. 250 µm)



Foto 1. Oversigtsfoto.

Ned til 100 µm målt.

Kuldebroer.



Foto 2.
Overfladekorrosion ved
overgang til gulve.

KORR. KAT. C4 HØJ SPECIFICERET MHT. OVERFLADEBEHANDLING – 1 ÅRS GENNEMGANG

Ned til 100 µm målt

Skimmel <=> kondens



Foto 3.
Overfladekorrosion ved
overgang til loft.



Foto 4.
Overfladekorrosion ved
overgang til loft, søjler
midt i facade.

KORR. KAT. C4 HØJ SPECIFICERET MHT. OVERFLADEBEHANDLING – 1 ÅRS GENNEMGANG

Ned til 100 µm målt

Skimmel <=> kondens

En ommer ☺



Foto 5.
Overfladekorrosion ved
overgang til loft, sjæler
mod mellemgang



Foto 6.
Overfladekorrosion ved
overgang til gulv, sjæler
mod mellemgang

GENBRUGSPLADS, ESBJERG – KORROSION EFTER KORT TID PÅ SPÆR M.M.



RAMBØLL

GENBRUGSPLADS, ESBJERG – KORROSION EFTER KORT TID PÅ SPÆR M.M.



GENBRUGSPLADS, ESBJERG – HAL FOR BATTERIER, OLIE M.M.

TEKNISK SPECIFIKATION



Kunde:
Kontaktperson:
Telefon:
Email:

Projekt:
Beliggenhed:
Ejer:

Dato:
Udarbejdet af:
Telefon:
Email:

System-beskrivelse:
Korrosionskategori:
Areal m²:

C2L og C2M

C3M

Kommentarer:

Forbehandling:

Inden malebehandling påbegyndes skal der sikres en egnet bund. Alle forureninger samt salte som har indflydelse på systemets holdbarhed skal fjernes med egnede metoder.

STÅLOVERFLADER: Fjern rust ved slibning til renhedsgrad St 3 (ISO 8501) med sandpapir kom 60.

TIDLIGERE MALEDE OVERFLADER: Sandblæses til renhed SA2½ med ruhed medium (ISO 8503-01)

Samme procedure.

Produkt	Kuler	Binder type	Fortynder	DFT (µm)	Antal lag	WFT (µm)	Tørstof- indhold (%)	Teo. Række- evne (m ² /L)	VOC (g/L)	VOC (g/m ²)	Areal (m ²)	Teoretisk Malings- forbrug (L)	Malings- pris (DKK/L)	Pris / m ² (DKK)
Teknoplast HS 150	XXXX	EP	Teknosolv 9506	120	1	171	70	5,8				0,00		-
TOTAL (behandlet areal)				120						0		0,00		-

For yderligere teknisk information se venligst datablade for produktene.

min 160 my

Venlig hilsen
Teknos A/S

RAMBOLL

GENBRUGSPLADS, ESBJERG – EKSEMPLER PÅ UDSEENDE - FORÅR 2016



GENBRUGSPLADS, ESBJERG – EKSEMPLER PÅ UDSEENDE - FORÅR 2016



RAMBOLL



GENBRUGSPLADS, ESBJERG



HVAD GIK GALT?

RAMBOLL

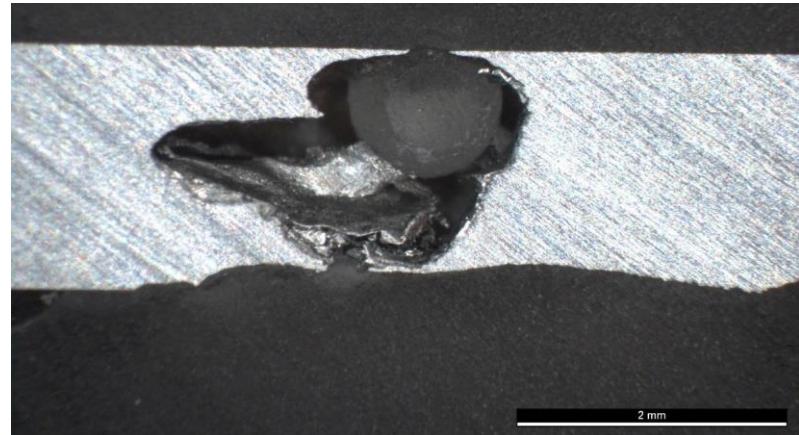
GENBRUGSPLADS, ESBJERG

HVAD GIK GALT?

- Korrosionsklasse estimeret for lavt (udgangspunkt var: ståldele sidder jo beskyttet af taget imod regn og fugt)
- Lav korrosionsklasse => total malinglagtykkelse specifieret forholdsvis lavt
- Dårligt udført malerarbejde/overfladebehandlingsarbejde – specifieret lagtykkelse ikke engang opnået (klassisk fejl – ikke mindst langs kanter m.m.)
- Elendigt reparationsarbejde udført i 2015 – malet ovenpå gammel rust - uden forudgående afrensning (tilbageværende salte på overflade – salte fra udeluft)

Store skurke: Salte og KONDENS !!

Rustfrit stål (er absolut ikke altid rustfrit !!!!)



Stainless steel

Crevice corrosion/ corrosion underneath deposits



RAMBØLL

Esbjerg Musikhus. Corrosion in stainless steel lined basin.

Crevice corrosion/ Corrosion underneath deposits



RAMBOLL

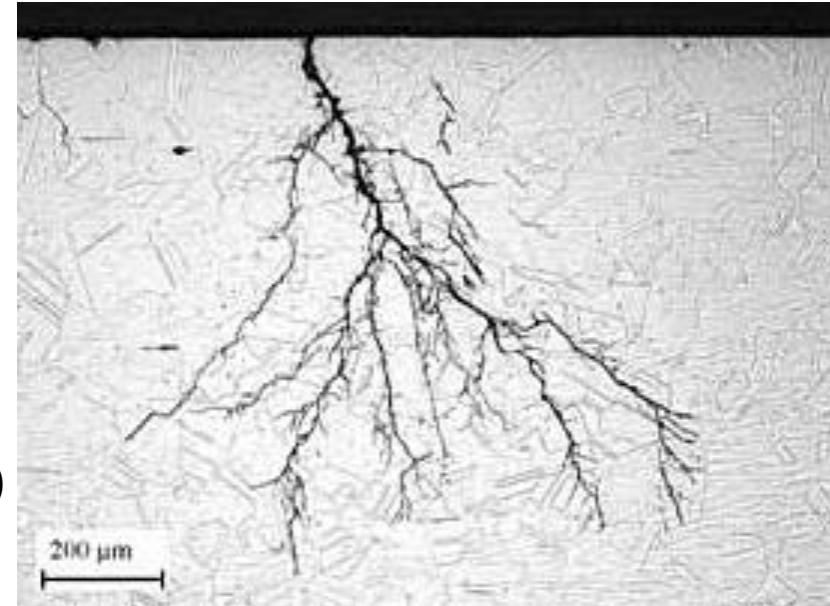
Esbjerg Musikhus. Corrosion in stainless steel lined basin.

SPÆNDINGSKORROSION – RUSTFRIT STÅL

BRUD/LÆKAGER

Rustfrit stål – forudsætninger for spændingskorrosion:

- 1. Trækspændinger (indre eller ydre)**
- 2. Temperatur ($t > \text{ca. } 60 \text{ grader C}$)**
- 3. Cl^- (klorider)**



Klorider ☺ - pas på inddampningsforhold !!!!

Særligt de austenitiske stål (304 og 316) er utsatte !

FRACTURED STAINLESS STEEL BOLT FOR SEA WATER STRAINER ONBOARD SHIP

Bow thruster
room totally
water flooded

Sea water
temperature:
Up to 33 deg C

+1500 kW
motor for
thruster



FRACTURED STAINLESS STEEL BOLT FOR SEA WATER STRAINER ONBOARD SHIP



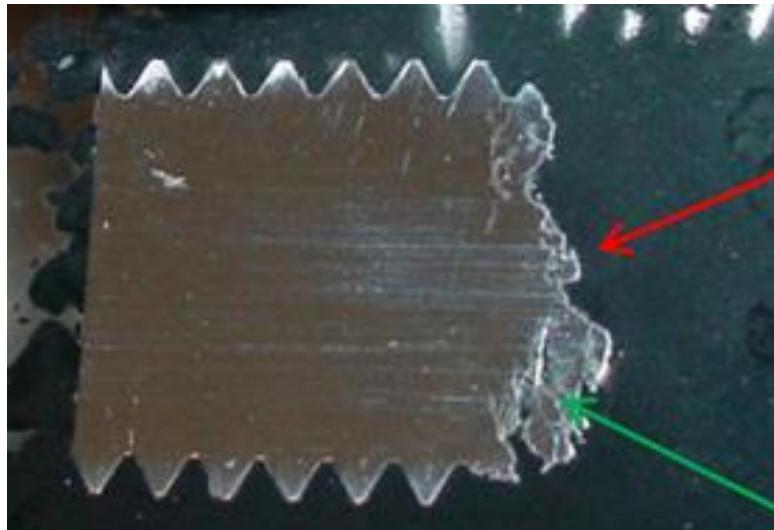
2016/12/06

Fracture surface

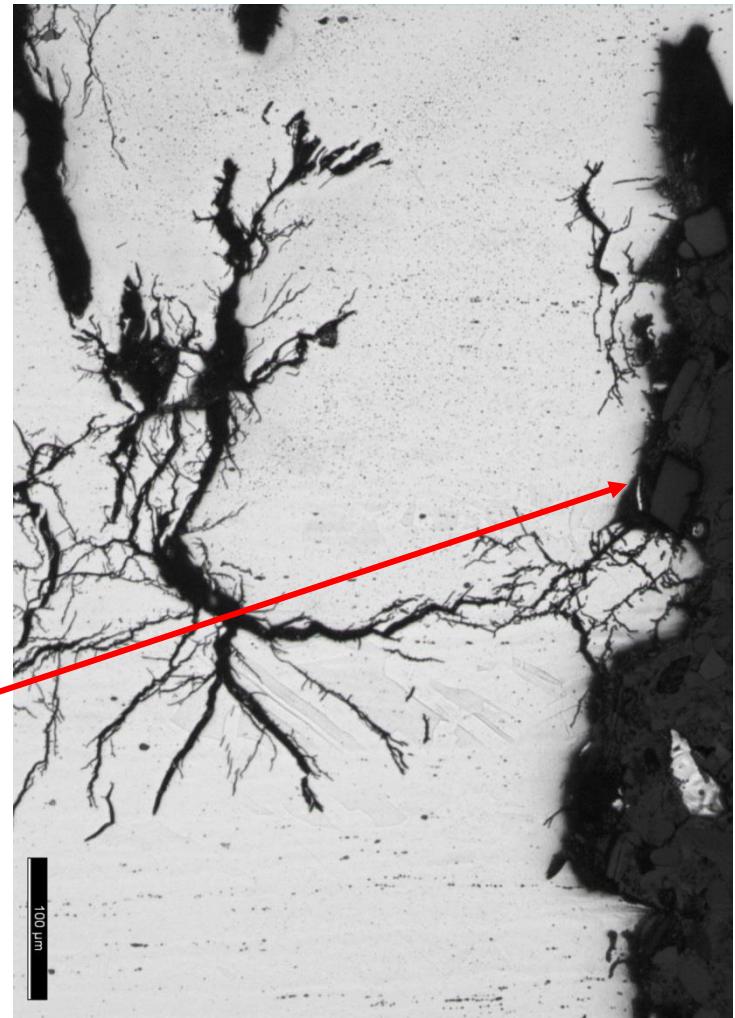


2016/12/06

FRACTURED STAINLESS STEEL BOLT FOR SEA WATER STRAINER ONBOARD SHIP



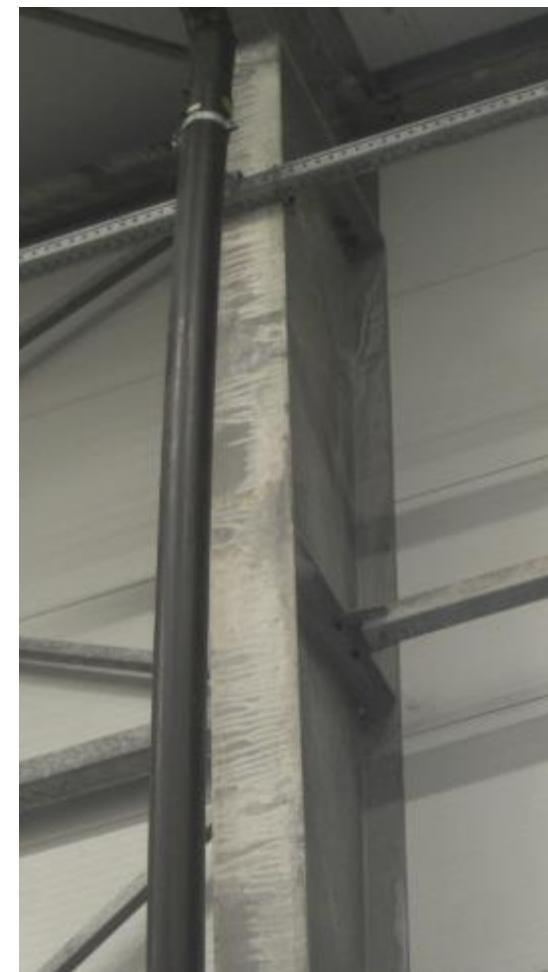
Fracture
surface



Varmforzinkning

Pas på under opbevaring

af varmforzinkede emner:



REVNER I VARMFORZINKET BESLAG

Stærkt kolddeformeret zone
(koldbukket)

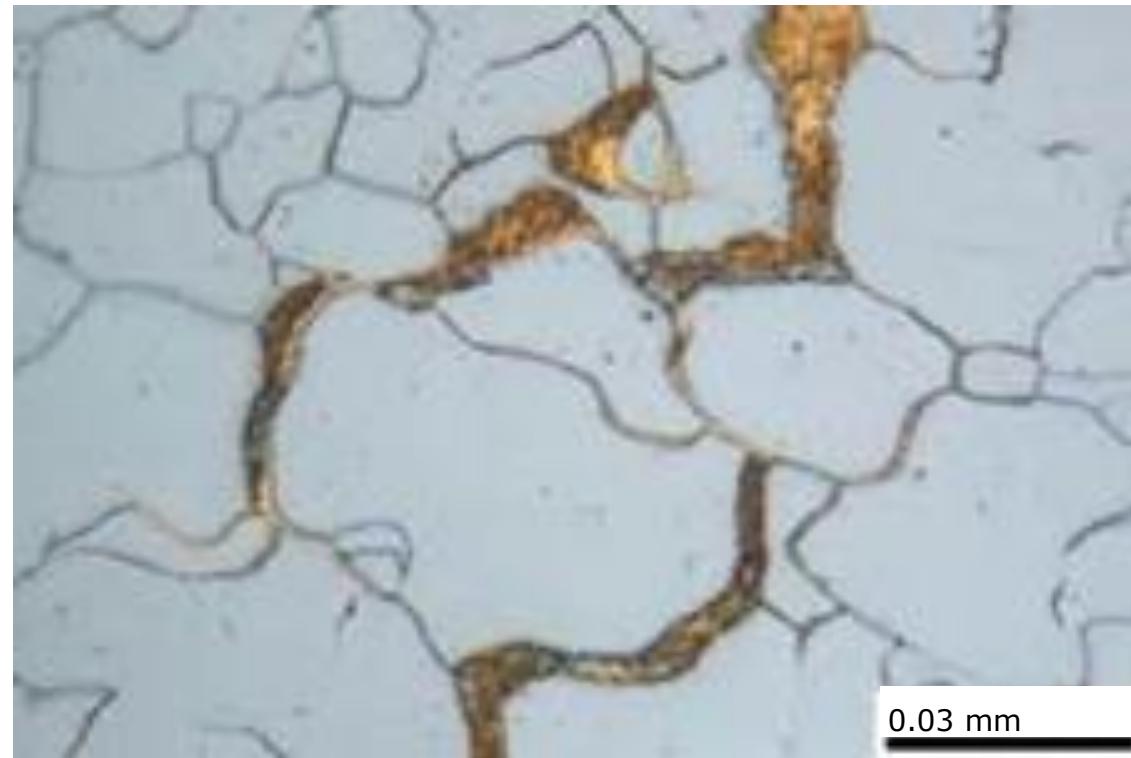
LME =
Liquid Metal Embrittlement
medfører revnedannelser



REVNER I VARMFORZINKET BESLAG - LME

Stærkt kolddeformeret zone
(koldbukket)

Zink trukket ind langs
korngrænser i materialet =>
kun zinkens styrke er
tilbage ☹



THORSMINDE HAVN – GALVANISERET PULLERT

Hvorfra kommer vinden?



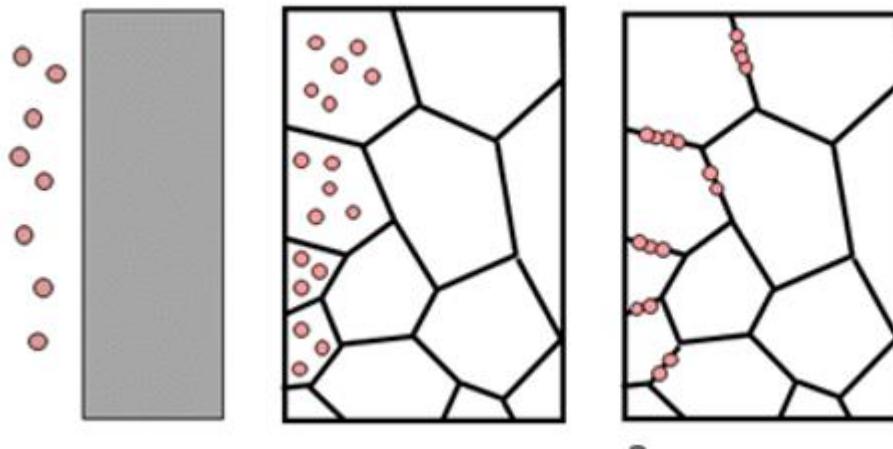
CARBON STEEL

HYDROGEN INDUCED STRESS CORROSION CRACKING

~ EMBRITTLEMENT OF MATERIAL

Embrittlement process

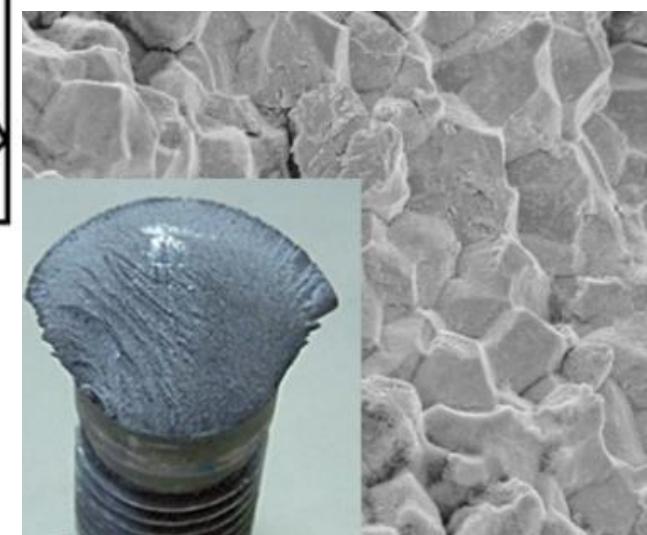
At room temperature, hydrogen atoms can be absorbed by carbon steel alloys. The absorbed hydrogen may be present either as atomic or molecular form. Given enough time, the hydrogen diffuses to the metal grain boundaries and forms bubbles at the metal grain boundaries. These bubbles exert pressure on the metal grains. The pressure can increase to levels where the metal has reduced ductility and strength.



Fracture surface viewed

via Scanning Electron

Microscope (SEM):

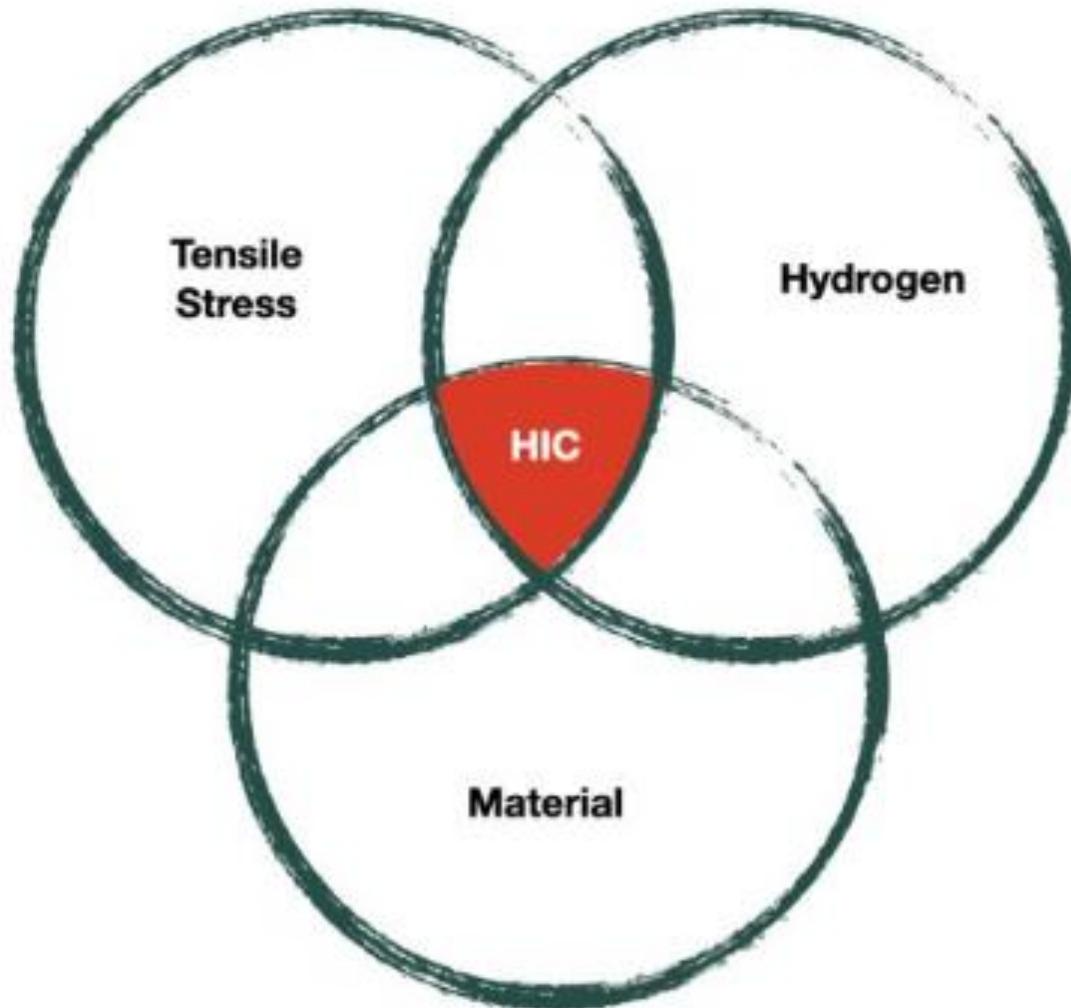


HYDROGEN INDUCED STRESS CORROSION CRACKING

A combination of three parameters

Carbon steel material:

Primarily high strength steels are exposed:
Hardness > 340-350 HV - corresponding to tensile strength > approx. 1100 MPa



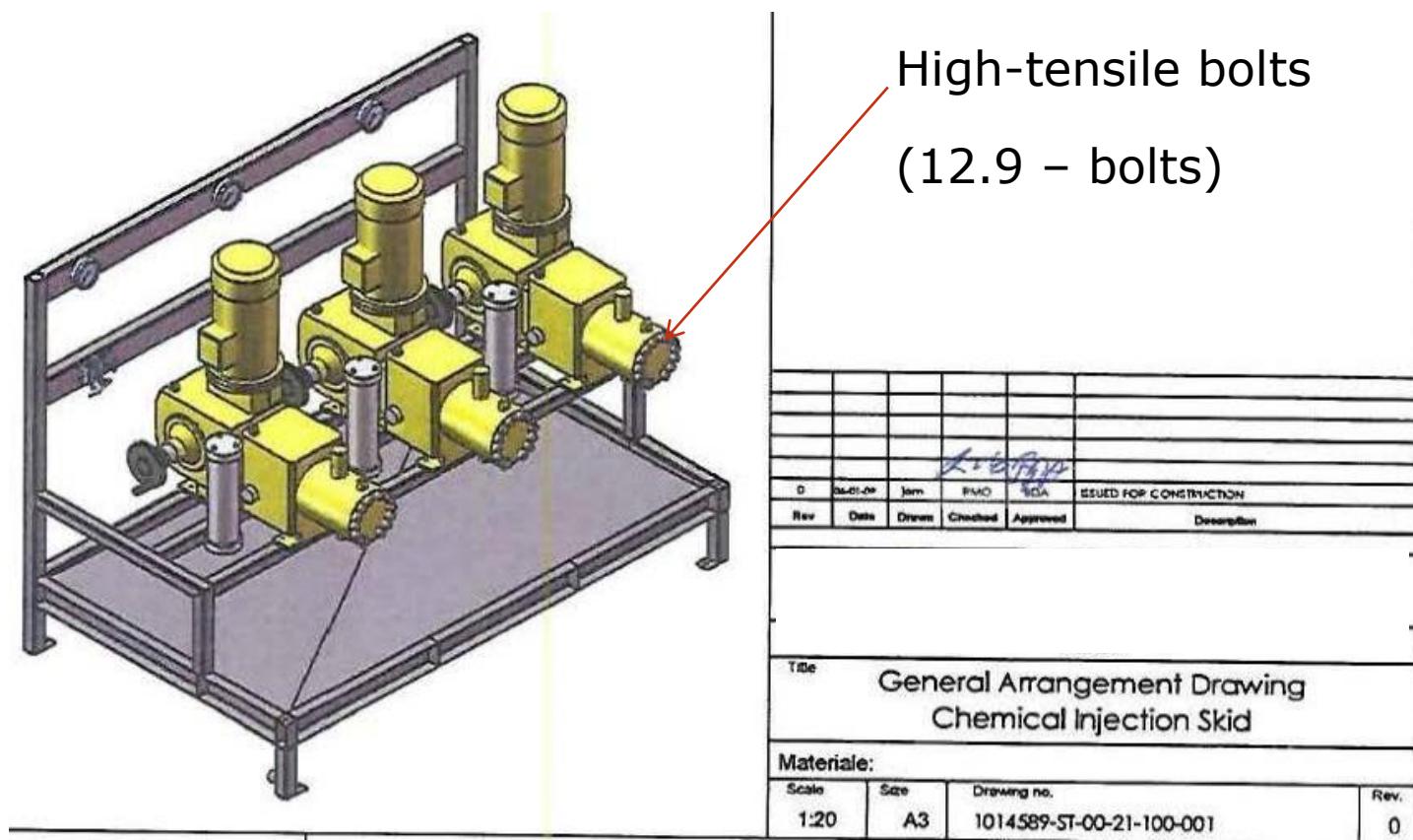
HYDROGEN INDUCED STRESS CORROSION CRACKING: SOURCES OF HYDROGEN

- **From steel manufacturing**
- **Electroplating**
- **Exposure to acids**
- **Acid treatment before hot dip galvanizing**
- **Maintenance chemicals**
- **Wet H₂S**
- **Corrosion reactions**
- **Cathodic protection**
- **High pressure hydrogen-containing environments**

Baking at approx. 200 deg. C for an hour or more – hydrogen

SEVERAL LEAKS IN SCALE INHIBITOR PUMPS

Hydrogen induced stress corrosion cracking

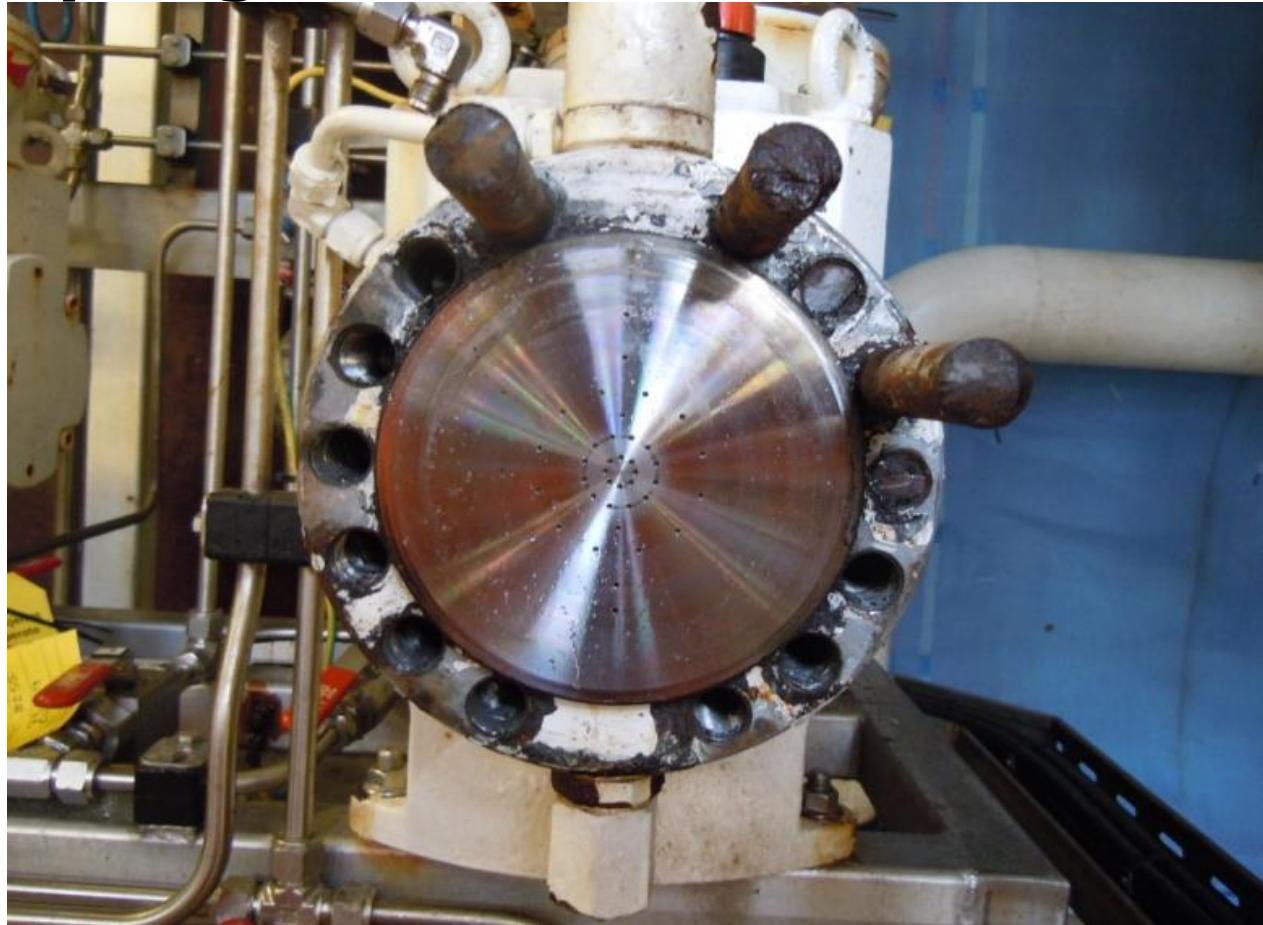


RAMBOLL

Scale inhibitor pump skid – leaking several times.
Pumps brought ashore again and again for repair.

SEVERAL LEAKS IN SCALE INHIBITOR PUMPS

Hydrogen induced stress corrosion cracking



Scale inhibitor pump – disassembled.

Cracked/fractured 12.9-bolts due to hydrogen embrittlement.

SEVERAL LEAKS IN SCALE INHIBITOR PUMPS

Hydrogen induced stress corrosion cracking



12.9 bolts for scale inhibitor pump – received for examination.

RAMBOLL

Severe corrosion where water has had access to the surface.

SEVERAL LEAKS IN SCALE INHIBITOR PUMPS

Hydrogen induced stress corrosion



Bolts for scale inhibitor pump – acid-cleaned fracture surfaces.
Corrosion has developed hydrogen → fracture in bolts.

HYDROGEN INDUCED STRESS CORROSION CRACKING

Extract from ISO 898-1 (bolts, screws and studs)

Mechanical or physical property	Property class										
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9/ 12.9	
						$d \leq 16 \text{ mm}^a$	$d > 16 \text{ mm}^b$				
Vickers hardness, HV $F \geq 98 \text{ N}$	min.	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	max.	220 ^g				250	320	335	360	380	435
Brinell hardness, HBW $F = 30 D^2$	min.	114	124	147	152	181	245	250	286	316	380
	max.	209 ^g				238	316	331	355	375	429
Rockwell hardness, HRB	min.	67	71	79	82	89	—				
	max.	95,0 ^g				99,5	—				

Carbon steel material:

Primarily high strength steels are exposed:

Hardness > 340-350 HV

FRACTURED SPRING FOR VALVE

Hydrogen induced stress corrosion cracking



Coating
thickness:
533 µm

Hardness:
550 HV

FRACTURED SPRING FOR VALVE

Hydrogen induced stress corrosion cracking



Coating
thickness:
 $533 \mu\text{m}$

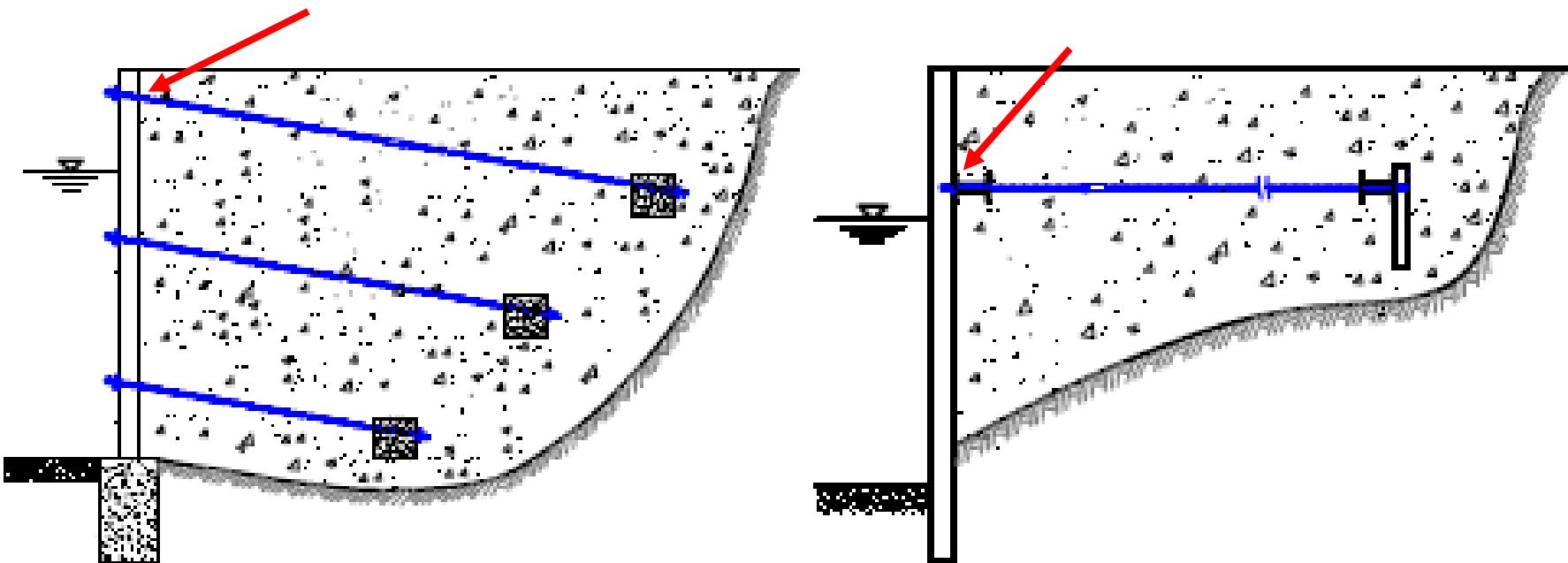
Hardness:
 550 HV

RAMBOLL

Corrosion in coating damage area

ANCHOR RODS FOR QUAY – HARBOUR

Approx. 35 pcs. of anker rods fractured. The quay started settling during crane loads added – subsequently (cranes had left) - a high bang occurred and the quay curved outwards – towards the water.



Deadman tieback anchorage into soil

RAMBOLL

Red arrows point to typical fracture positions

ANCHOR RODS FOR QUAY – HARBOUR



Fractured rods along quay

Typical fracture surface



ANCHOR RODS FOR QUAY – HARBOUR

Tensile test – acc. to spec.

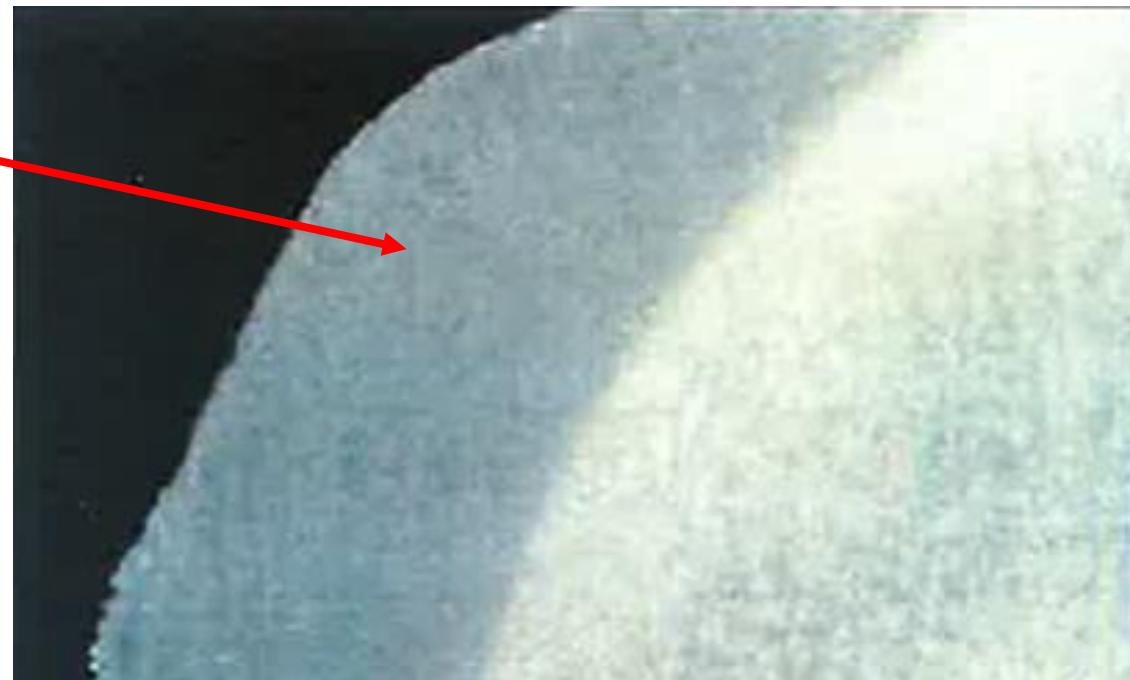
No alarm clocks warning

Proof strength R_{eH} MPa	Tensile strength R_m MPa	Elongation A_{10} %
711	875	15,4
707	878	15,9

Hardness testing showed presence of hardened zone along circumference – susceptible to hydrogen.

Outermost: 360 HV

Centre: 280 HV



PEUGEOT 405'S DØD

Sorte skyer trækker sammen !!



PEG's gode gamle Peugeot 405 – få minutter før skrotning ☺.
Bagbro knækket på grund af brintskørhed –
forårsaget af.....ja, rigtigt gættet - korrosion !!!

RAMBOLL