

Havvindmøller og korrosion

Lisbeth Rischel Hilbert
Specialist (Afdelingschef)
FORCE Technology
Korrosion & Metallurgi

- Forebyggelse af korrosion
- Korrosion indvendigt i monopæle
- Overvågning - projekter

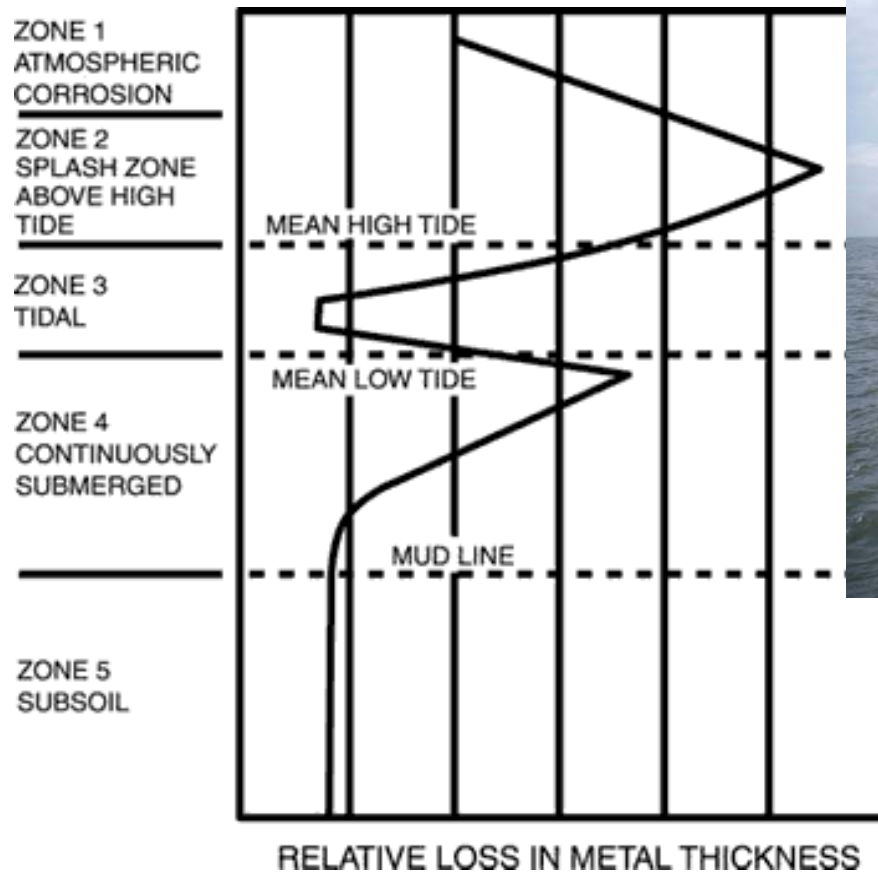


Har vi et problem?

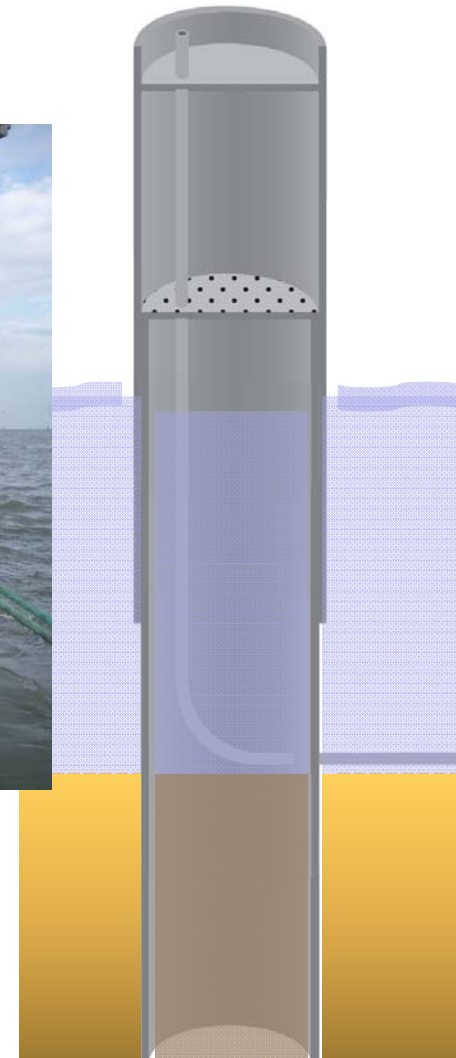


Monopæl – møllens fundament

- Stål ruster i havvand – ilt, tidevand og flow
- Katodisk beskyttelse (CP) og/eller coating anvendes
- Korrosionstillæg



(LaQue: Marine corrosion, 1975)



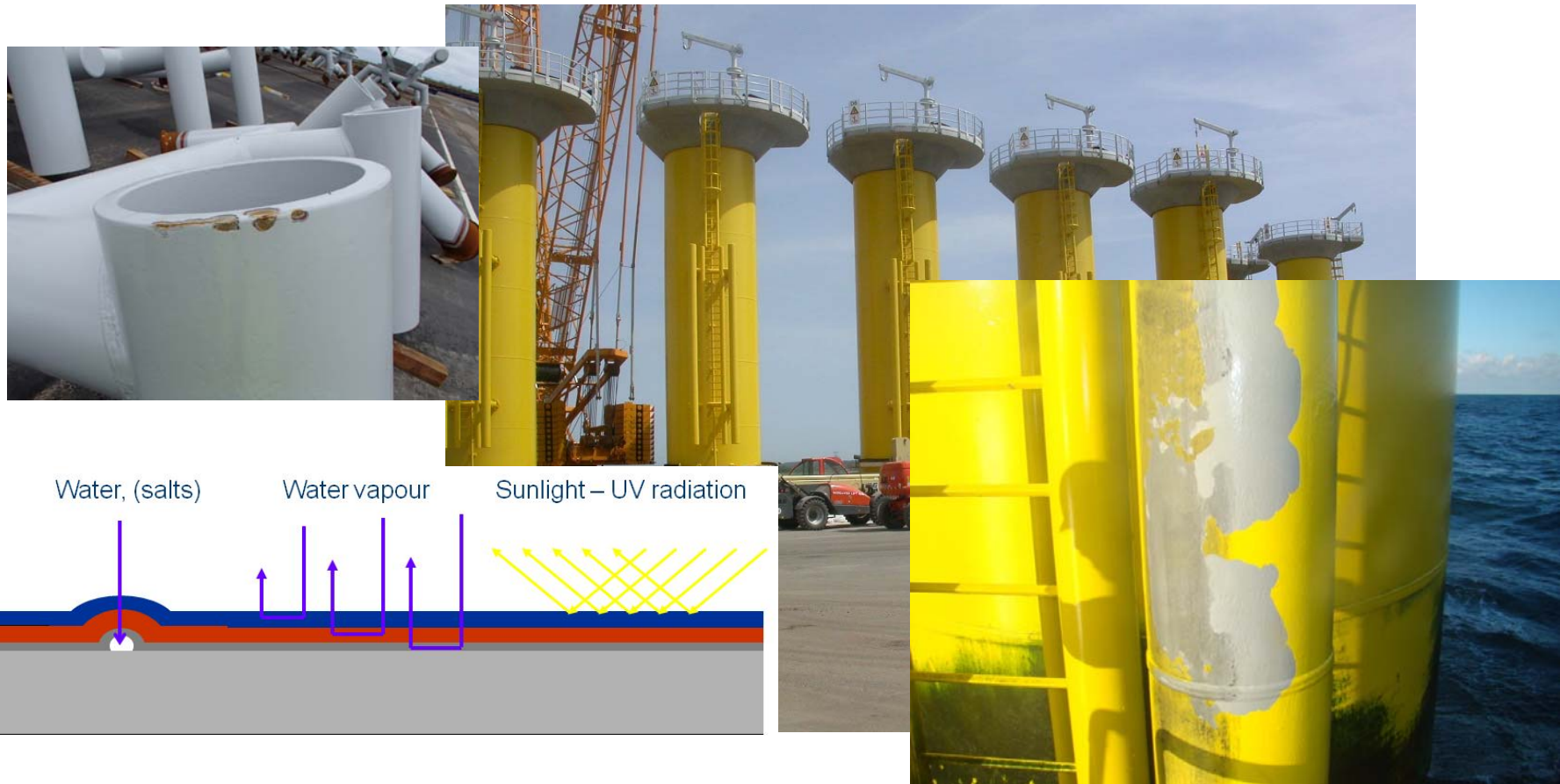
Sikre optimal kvalitet af coating



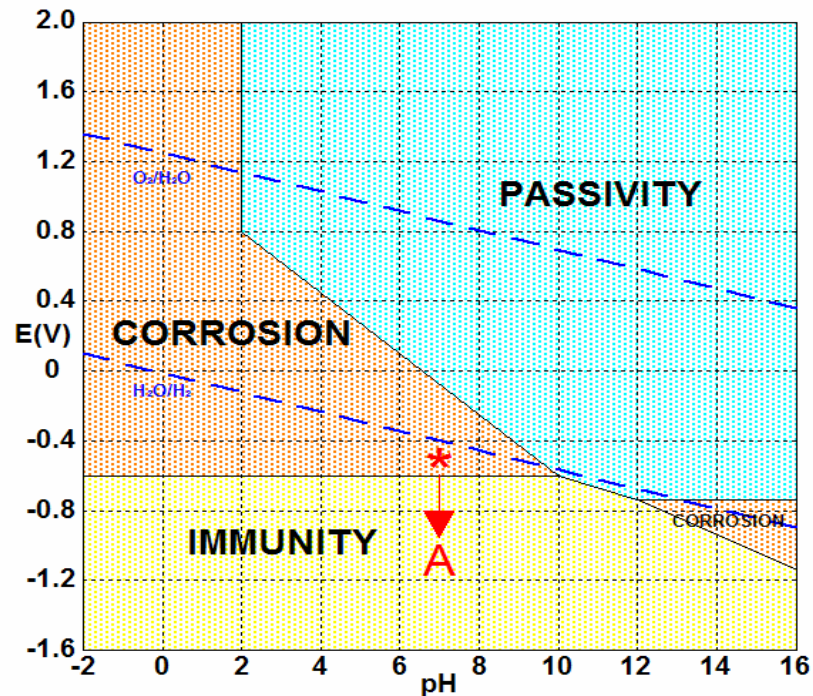
Coating er en barriere mod miljøet – aktiv/passiv

Minimer fremstillings- eller håndteringsfejl

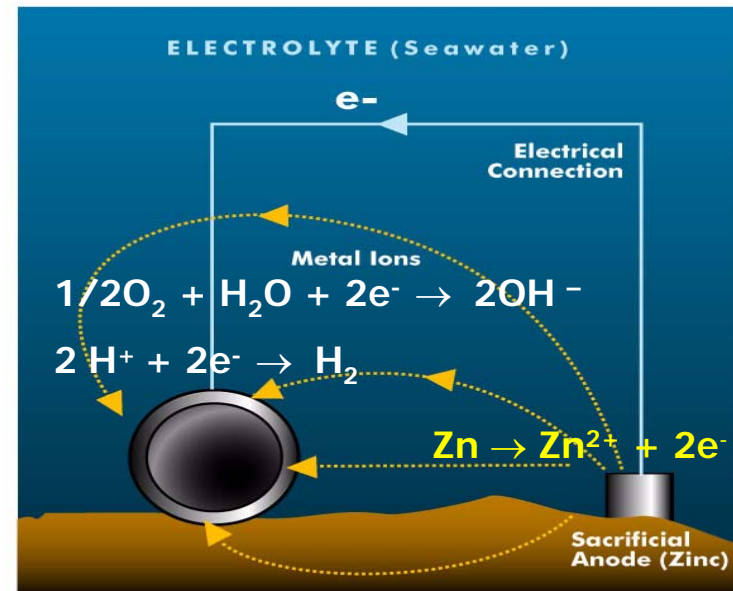
Nedbrydning ved skader og over tid – valg af coatingsystem



Katodisk beskyttelse (CP) - princip

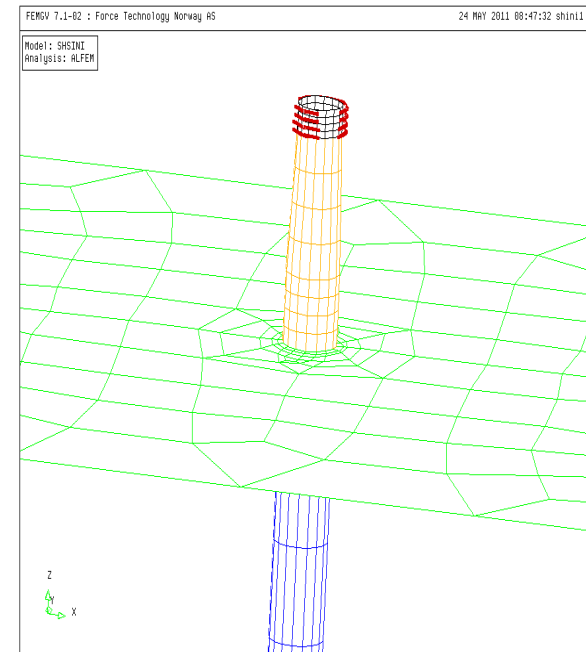


- Anoden (zink) korroderer
- Ved elektrisk kobling= strøm af elektroner
- Potentialet sænkes, stålet er beskyttet
- pH stiger ved stålet, endnu langsommere korrosion

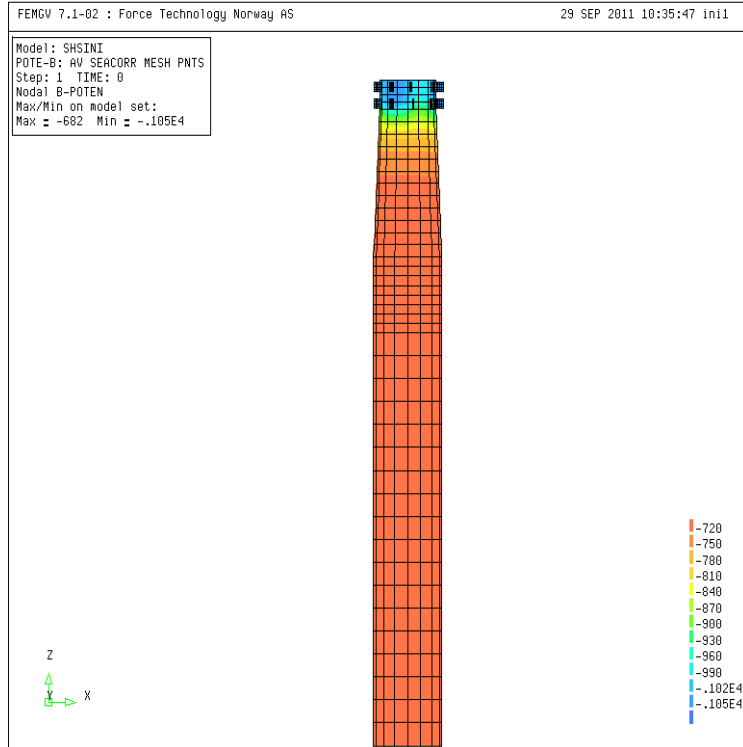


TP coated og med anoder

- Beskytter KUN udvendigt
- Kræver passende design med ønsket levetid
- Kontrol er nødvendigt, (-0.80 til -1.10 V vs Ag/AgCl/havvand)
- Coating nedbrydes over tid, anoder kan udskiftes

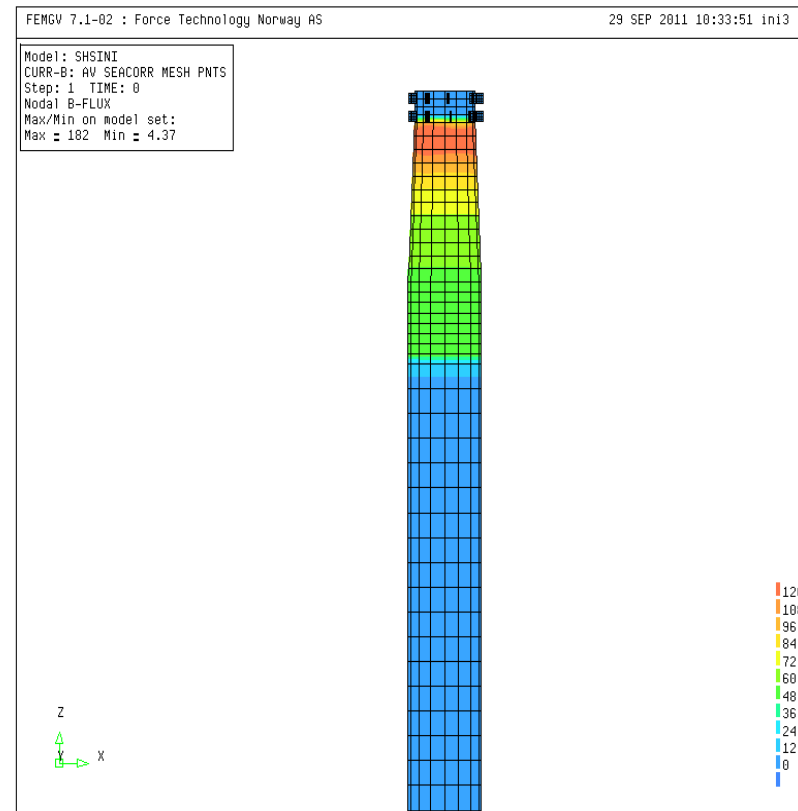


Monopæl typisk kun beskyttet med CP



Potentiale (mV vs Ag/AgCl)

Baseret på initielt strømbehov er pælen med dette design underbeskyttet – anoderne sidder for tæt!



Strømtæthed (mA/m²)

Korrosion indvendigt i monopæle



Designet til levetid på 20-25 år

Lukket kammer, lav iltindhold

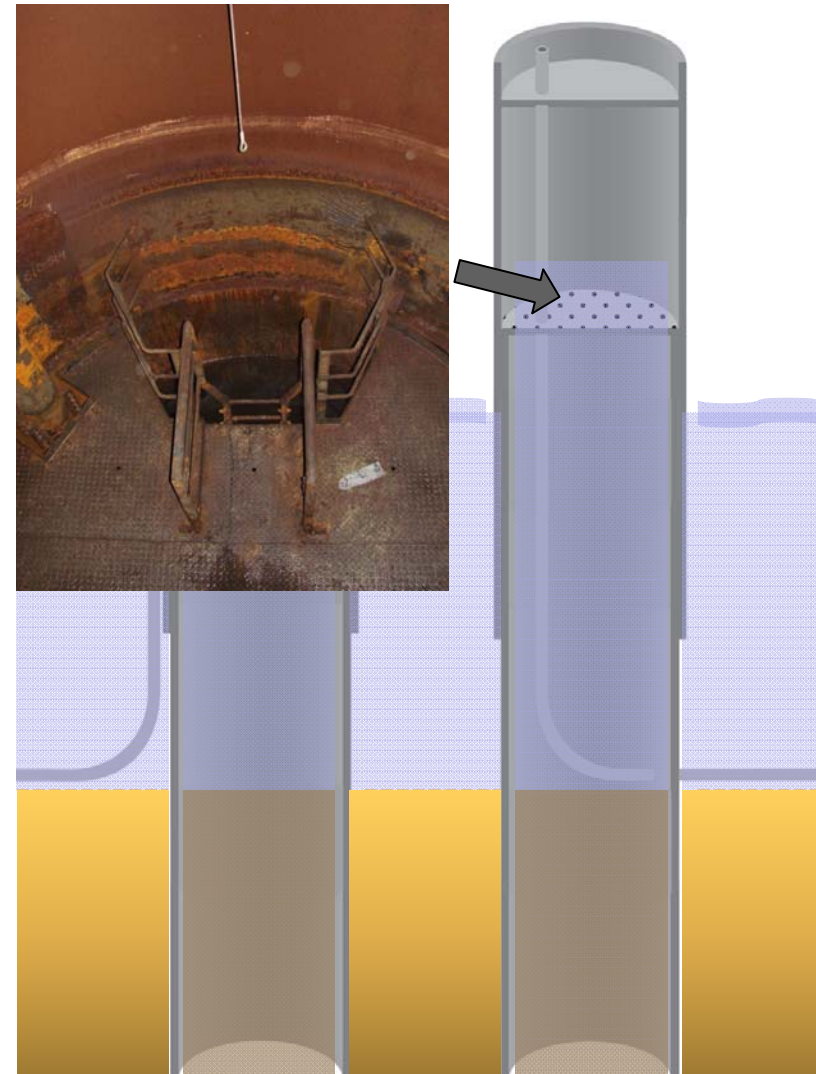
Forventet lav korrosionsrate

Korrosionstillæg

Intern eller ekstern J-tube

DNV-OS J101:

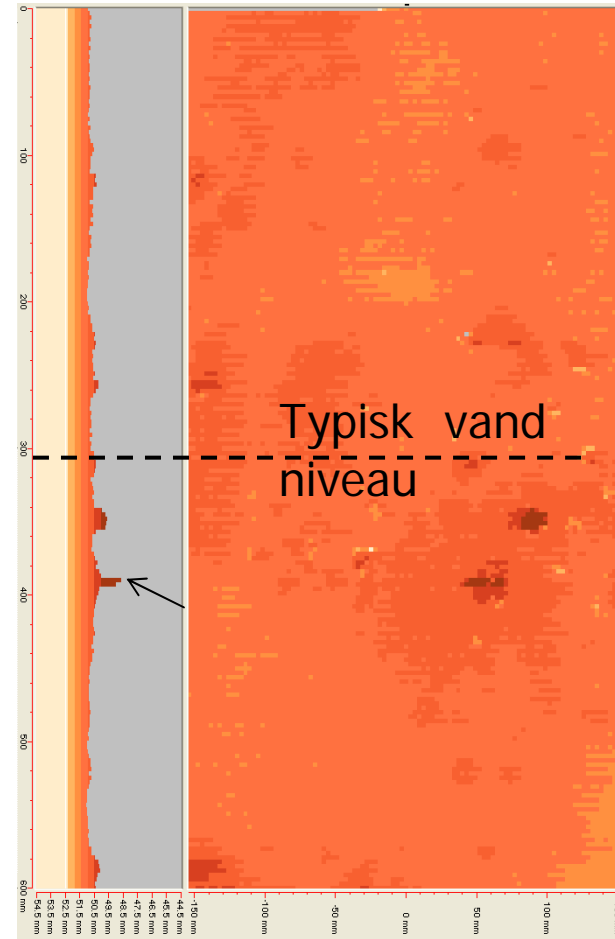
- *Internt: CP eller korrosionstillæg med eller uden kombination med coating*
- *I praksis vanskeligt at opnå helt lufttætte og forseglede rum*
- *Tidevand giver variation i det indvendige vandniveau.*



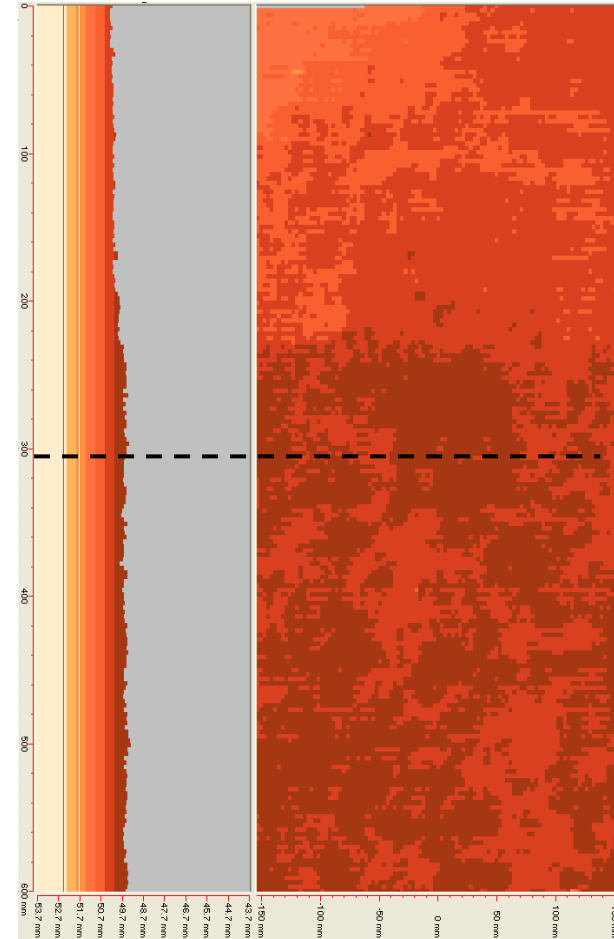
Godstykkelsesreduktion, lokalt stor variation



Eksempel på UT godstykkelsesdata – samme fundament



Localised pitting corrosion. Min. wall thickness above/below waterline: 50.3 / 48.7mm. Average: 51.0 mm => **Max variation: 0.7/2.3 mm.**



Localised general corrosion. Min. wall thickness above/below waterline: 49.7 / 49.3 mm. Average: 49.9 mm => **Max variation 0.2/0.6 mm**

Accelerated low water corrosion

- Havne (spunsvægge), ballast tanke
- Høje lokale korrosionsrater pga. iltkoncentrations-celle
- Aerobe og anaerobe organismer

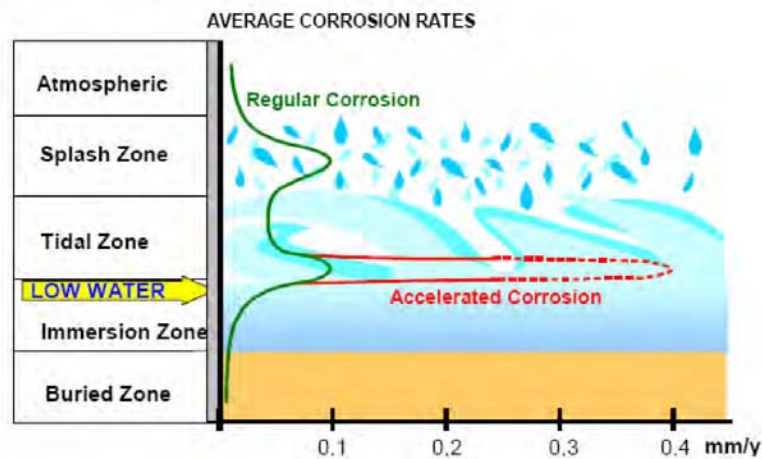
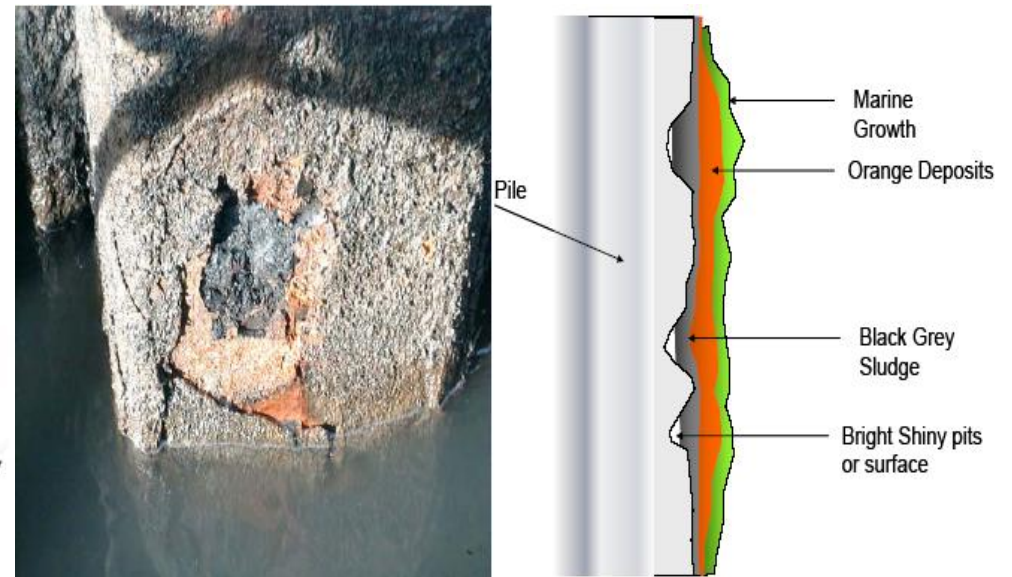


Figure 1: Typical corrosion profile of steel piling in tidal water

Marty et al, Eurocorr 2010



Korrosionsrater, første 2-8 år



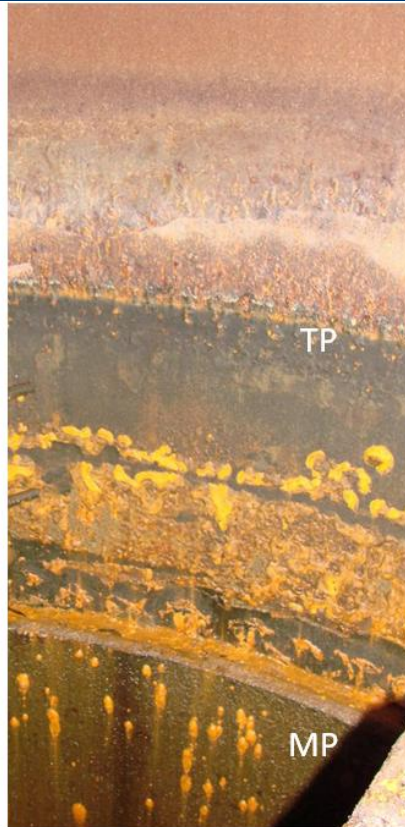
Atmospheric zone

Tidal zone

Mean water level

Submerged zone

Service platform



Data:

Atmosfærisk, $<0,1$ mm/år

“Tidal”: op til $0,5$ mm/år lokaliseret

Submerged: $0,1-0,15$, lokalt $0,2-0,3$ mm/år,
afhænger af dybde og ilttilførsel

Risici i mudderzone og sediment?:

Iltkoncentrationscelle, $0,2$ mm/år

Mikrobiel korrosion lokalt $0,1-0,25$ mm/år

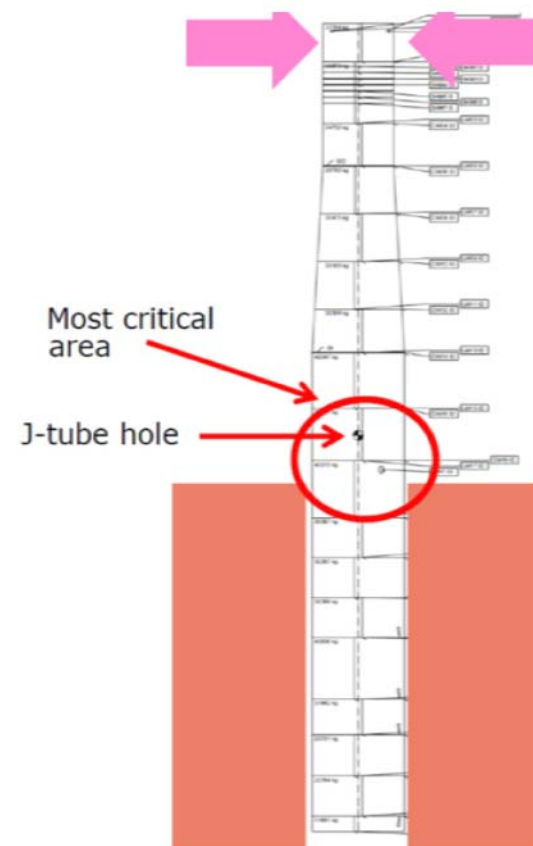
Sediment: ~ 0.015 mm/år generelt

Belastede områder

Adapted from DanCorr seminar September 2013, Peter Hilbert Møller Rambøll:

Most stressed areas:

- Welds in general
- Circumferential welds
- Area near seabed
- Edges of J-tube holes



Frygten for revner - korrosionsudmattelse?

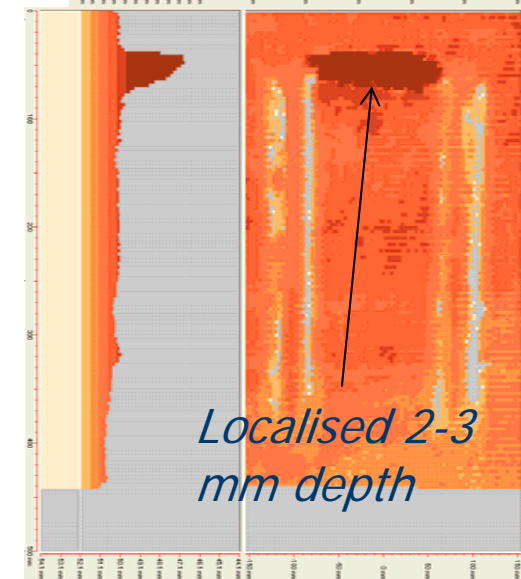
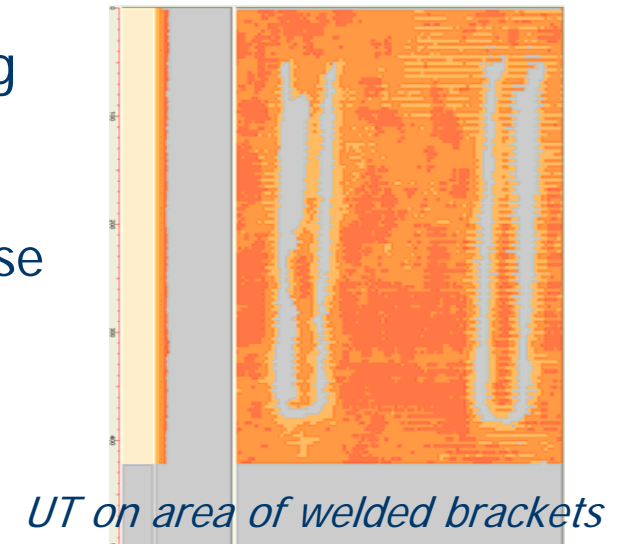


Risiko for revnevækst under dynamisk belastning
Korrosion i højtbelastede zoner er kritisk

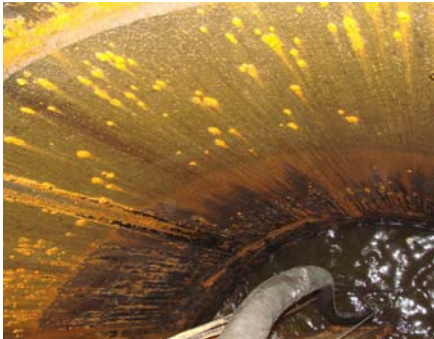
Men..der er meget gods og aflejringer kan bremse
revnevækst

Forebyggelse:

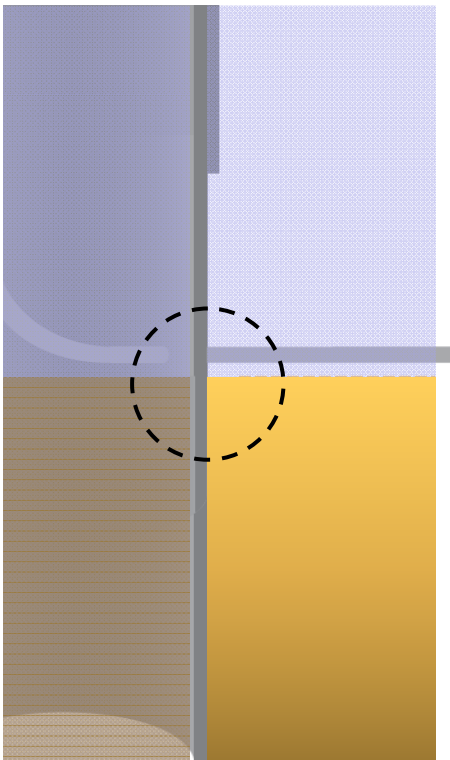
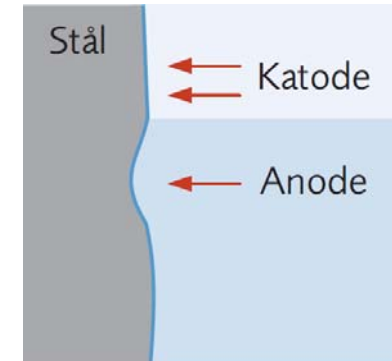
- gode svejsninger
- aflast spænding
- coating
- passende CP



Korrosion i mudderzonen



- Lokal korrosion øverst i mudderzone?
- Iltkoncentrations-celle?
- Mikrobielt influeret korrosion?
- Brintskørhed forøget (H_2S , CP)?



- Inspektion vanskelig – overvågning?
- Ekstern: Coating+CP
- Intern:
 - Begræns iltkoncentrationsforskelle
 - Coating og/eller passende CP
 - Fokus på svejsesømme i mudderzonen

Anbefalinger til korrosionskontrol indvendigt



- Generel og en vis lokal korrosion kan godt accepteres
- Begræns lokal korrosion særligt i kritiske zoner

- Design helt tæt (!)
- Design åbent og anvend lignende beskyttelse som udvendig
- Coating (ca. 10 års levetid?)
- Indvendig CP (behov for mere viden)
- ...
- Virker beskyttelsen? Korrosionsovervågning

Offentlige projekter ved FORCE Technology



Forsknings- og udviklingsprojekter med fokus på innovative og kostbesparende løsninger:

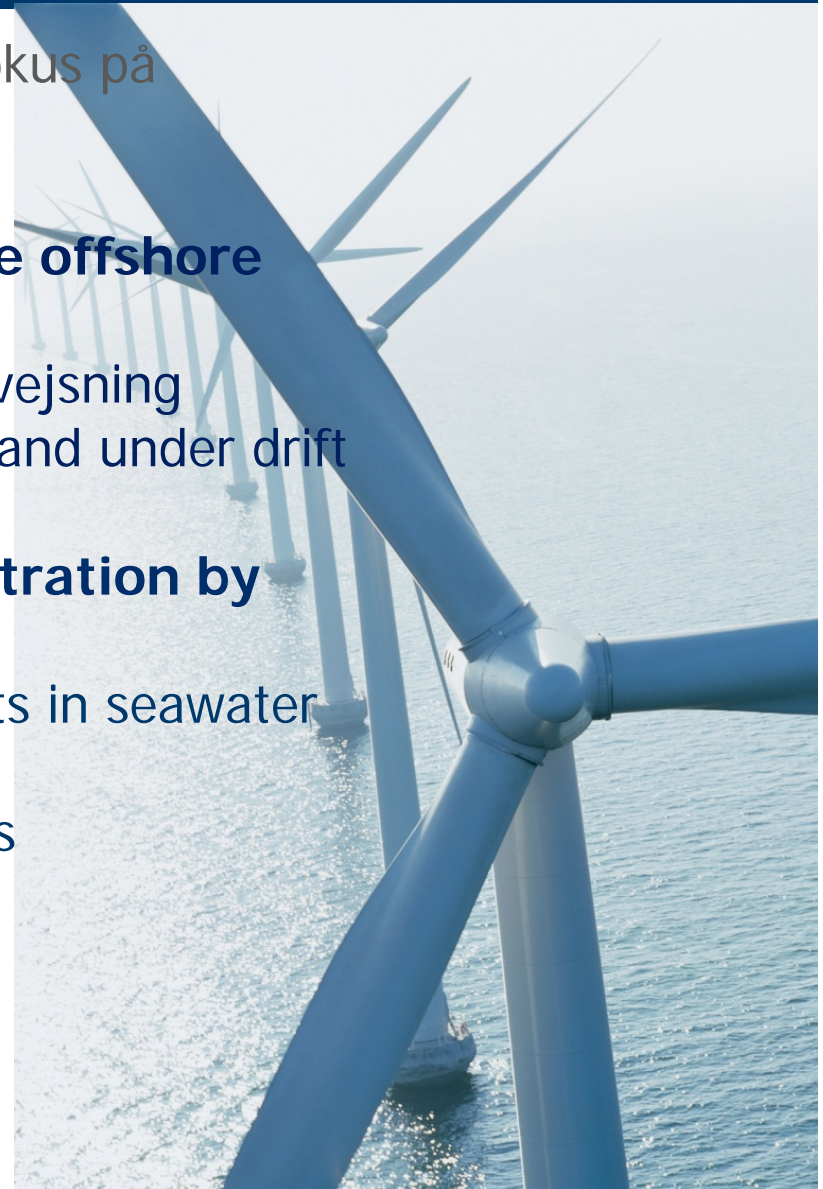
Fabrikation og overvågning af grønne offshore strukturer (RKI).

Optimering af svejseprocesser, lasersvejsning
Test og overvågning af korrosionstilstand under drift

Monopile cost reduction and demonstration by joint applied research (EUDP)

Improved design basis of welded joints in seawater

- Cost optimization of welded joints
- Automation of the production process
- Validation of fatigue resistance
- Corrosion properties and monitoring



Overvågning af ubemandede strukturer



Behov for kontinuert kontrol og varsel om reel levetid !

- Typisk fjernt fra kyst
- Mange individuelle enheder
- Besværlig reparation og vedligehold
- Ønsker sikkerhed og forudsigelig opførsel

- Inspektionsmetoder
- Systemer til **monitering** af korrosion, miljø, mekaniske spændinger, korrosionsbeskyttelse



European Federation of Corrosion

Working party Marine Corrosion – workshop on renewable energy at Eurocorr conference September 2014, Italien


NACE International

TG 476 - Corrosion Protection of Offshore Wind Power Units

State-of-the-art of standards and regulations for the corrosion protection of offshore steel constructions

Gap analysis on the corrosion protection of offshore wind power units in the immersed zone and in the transition zone



A photograph showing two vertical aluminum stige (steps) on a dark, textured surface. The stige are light-colored with some yellowish-brown staining at the base. The background is dark and appears to be a metal surface with some rust or corrosion.

Aluminum stige der
utilsigtet har virket
som offeranode

Tak for opmærksomheden

Tak til

Anders Rosborg Black,
Peter Kronborg Nielsen,
Troels Mathiesen,
Harald Osvoll,
FORCE Technology, DK & N

Sulphide in stagnant water/mud zone

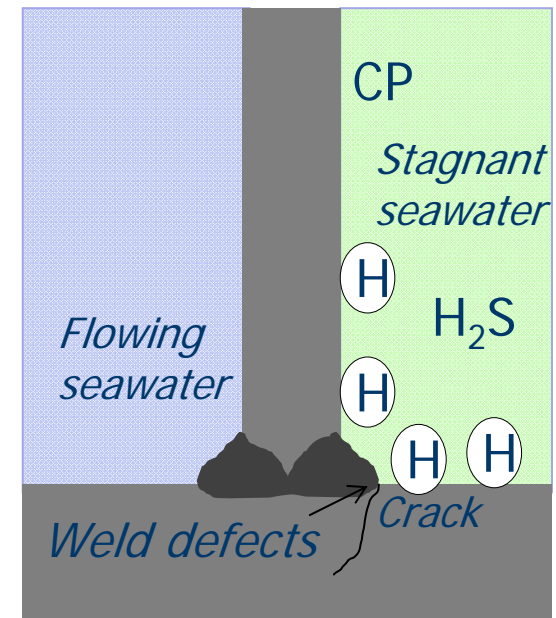


Protection options

- Spudcans – leg supports for mobile drill rigs
- Cracking of CP protected high strength steel parts major issue 30 years back
- *Cracks opened during loading*
- *Epoxy coated, CP protection by Al*
- *Inside stagnant seawater, H₂S*
- *Coating partially degraded*
- *Cracks extended due to HISC*

Prevention:

- limit no. of anodes
- paint welds (limits H ingress)
- biocide the closed compartment



Christensen et al, NACE symposium, Milan 1989