

Katodisk beskyttelse

COWI - Birit Buhr Jensen, NACE certificeret katodisk beskyttelses specialist

1 | 29 NOVEMBER 2012
BETONBEHOVERDAGEN 2012

COWI

Katodisk beskyttelse - Indhold

- › Princip
- › Forudsætninger for anvendelse
- › Reparationsstrategier
- › Eksempler på anvendelse af katodisk beskyttelse
 - › Farøbroerne, forebyggende installation – beton/påtrykt strøm
 - › Langelandsbroen, udbedrende installation – beton/påtrykt strøm
 - › SSAB, svensk havn – beton/stål, påtrykt strøm/offeranoder
 - › Busan-George tunnelen, Korea – stål/påtrykt strøm/offeranoder
 - › Vindmøllefundamenter – modellering – stål/offeranoder
- › Drift og vedligehold af katodisk beskyttelse
 - › Forvaltningssystem
- › Konklusion

2 | 29 NOVEMBER 2012
BETONBEHOVERDAGEN 2012

COWI

Katodisk beskyttelse - Indhold

- > Princip
- > Forudsætninger for anvendelse
- > Reparationsstrategier
- > Eksempler på anvendelse af katodisk beskyttelse
 - > Farøbroerne, forebyggende installation – beton/påtrykt strøm
 - > Langelandsbroen, udbedrende installation – beton/påtrykt strøm
 - > SSAB, svensk havn – beton/stål, påtrykt strøm/offeranoder
 - > Busan-George tunnelen, Korea – stål/påtrykt strøm/offeranoder
 - > Vindmøllefundamenter – modellering – stål/offeranoder
- > Drift og vedligehold af katodisk beskyttelse
 - > Forvaltningssystem
- > Konklusion

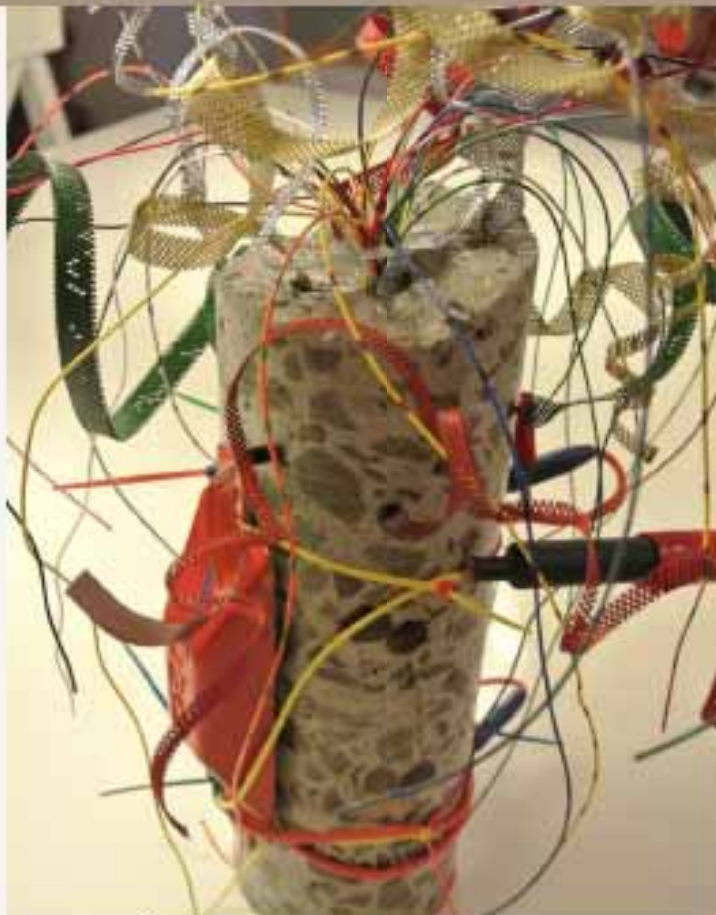
Katodisk beskyttelse - Indhold

- > Konklusion
- > Drift og vedligehold af katodisk beskyttelse
 - > Forvaltningssystem
- > Eksempler på anvendelse af katodisk beskyttelse
 - > Farøbroerne, forebyggende installation – beton/påtrykt strøm
 - > Langelandsbroen, udbedrende installation – beton/påtrykt strøm
 - > SSAB, svensk havn – beton/stål, påtrykt strøm/offeranoder
 - > Busan-George tunnelen, Korea – stål/påtrykt strøm/offeranoder
 - > Vindmøllefundamenter – modellering – stål/offeranoder
- > Forudsætninger for anvendelse
- > Reparationsstrategier
- > Princip

Konklusion

- › Katodisk beskyttelse kan anvendes på stål i elektrolyt
 - › Teknisk: forudsætning at stål hænger elektrisk sammen
 - › Teknisk: forudsætning at bæreevnen er intakt
 - › Teknisk: forudsætning at delaminerede områder er udbedret
 - › Økonomisk: billigere end alternativ over levetid
- › Katodiske anlæg skal vedligeholdes og drives i hele deres levetid
 - › Det skal ejeren være opmærksom på
- › Vejdirektoratets nyudviklede forvaltningssystem
 - › sikrer data
 - › giver alarm ved strømsvigt
 - › varslet tidspunktet for driftsrapportering
 - › lukker munden på de sidste skeptikere af katodisk beskyttelse

Katodisk beskyttelse = kunst?



Men området er under stadig udvikling

Drift og vedligehold af katodisk beskyttelse

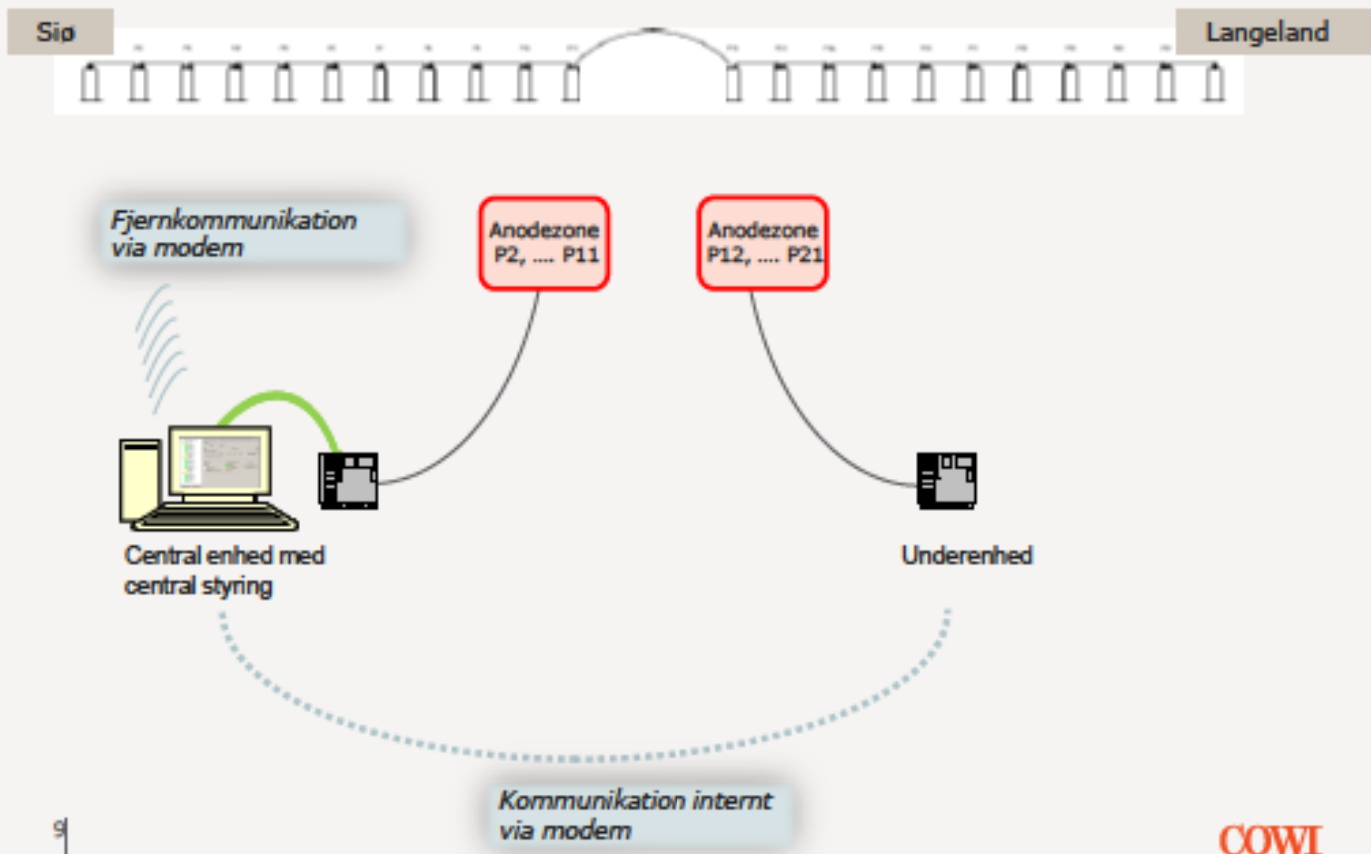
- › Funktionskrav
 - › Direkte (strøm og spænding)
 - › Indirekte (potentialer)
- › Instrumentering - Reference elektroder
 - › Placering
- › Drift og vedligeholdelsessystemer

Valg af overvågningssystem

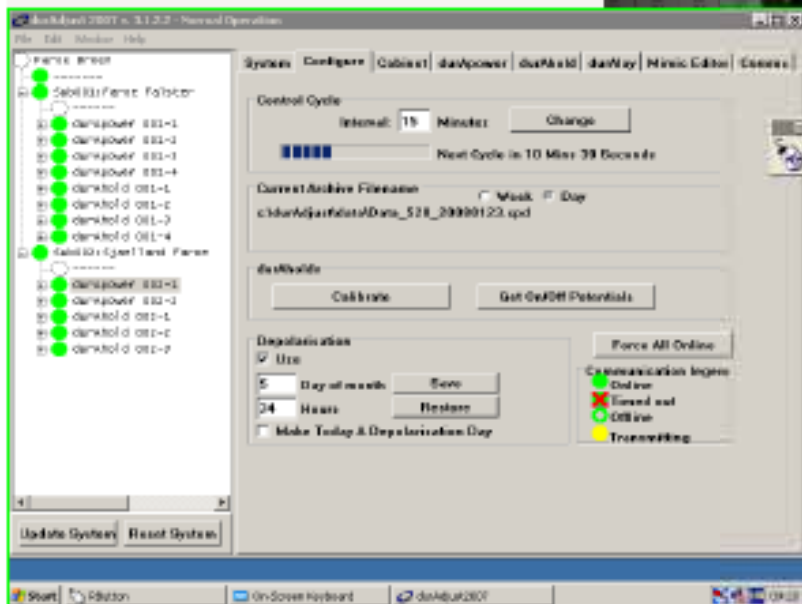
- › Standardsystemer men ofte tilpasses kontrol systemer til ejerens behov og muligheder.
- › **Manuel justering og kontrol**
 - › Målinger in-situ, strøm, spænding, on, off
 - › 24 timers depolarisationsmålinger
 - › Vurdering
 - › Mulig ny justering
 - › Ny kontrol måling
 - › Ingen varsel i tilfælde af strømsvigt
- › **Automatisk justering og måling/kontrol med model og PC**
 - › Målinger styres af PC (programmeret)
 - › Skærbillede af installation
 - › Data gemmes på hard disk
 - › Fjernregulering via PC
 - › Alarm i tilfælde af strømsvigt



Ensretter, styresystem og datalogger



Valg af kontrolsystem



Skærm billede af windows baseret installation.

Data opsamling let og alarm kan kombineres i tilfælde af fejl. Alarm via e-mail, sms eller via forvaltningssystem

Drift og vedligehold af katodiske anlæg

Store mængder af data

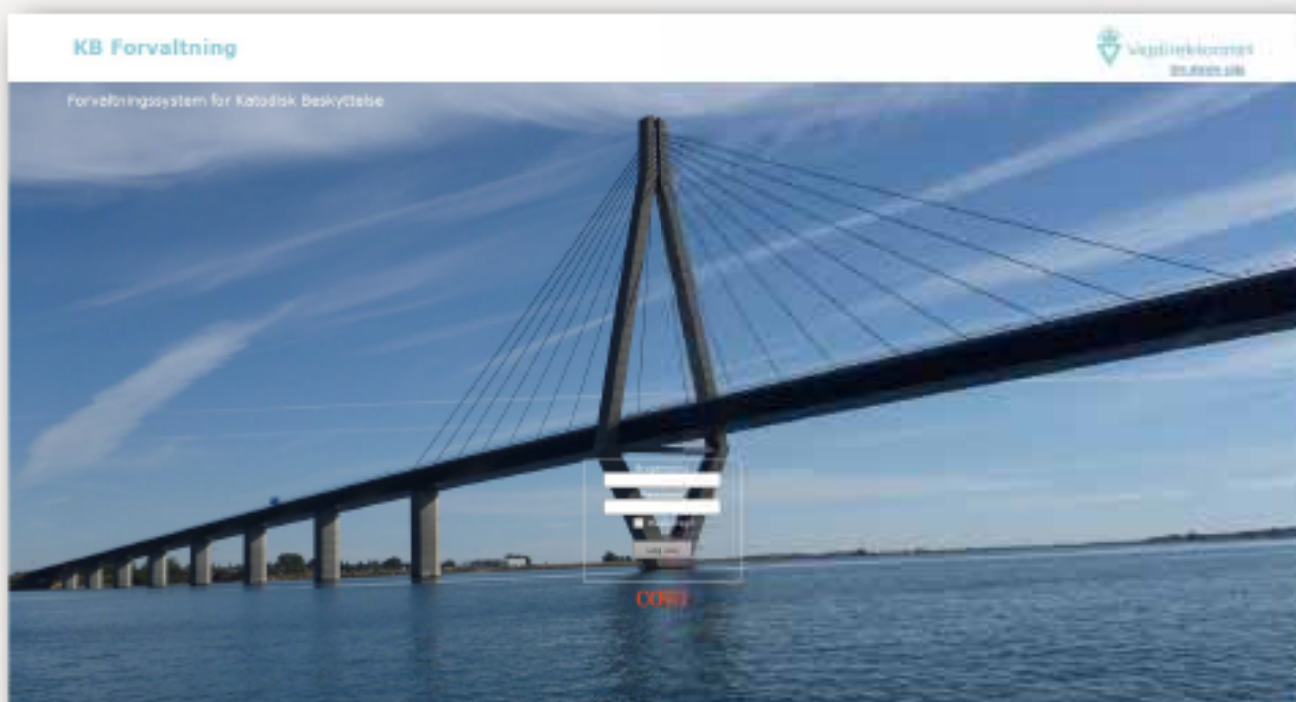
Usikkerhed ved driftsafbrydelser – strømsvigt

Usikkerhed ved driftsrapportering/vurdering

SLIDE
11

11.11.2019

Vejdirektoratets forvaltningssystem



Forvaltningssystem

- › <http://kbtest.gis-hotel.dk/>
- › Fjernovervågning og kontrol kan ikke erstatte inspektioner på stedet til fulde

Forvaltningssystem – fordele/muligheder

Driften af katodiske anlæg, store som små, overvåges
Data hentes og lagres i systematisk form i database
Fejl rapporteres hvis forkert datafil/sensor
Alarm ved strømsvigt
Mulighed for andre alarmer – potentialeniveauer mv.
Varsel før driftsrapportering skal foreligge
Opfølgning

Fordele for Vejdirektoratet

Sikkerhed
Mulighed for ensartet vurdering og rapportering
Placering af dokumentation og driftsdata/rapporter
Opfølgning
Mulighed for videnindsamling på længere sigt
Driften håndteres af systemet/driftsansvarlige

Eksempler på anvendelse af katodisk beskyttelse

Farøbroerne – forebyggende installation 33 piller på havvand

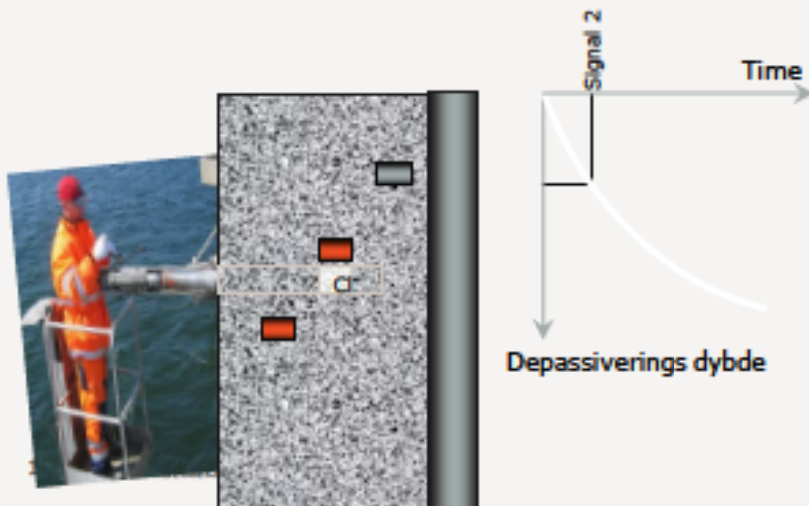


Farøbroerne blev indviet i 1985

- › Tid før korrosion starter i armeringsdybde?

Kombination af inspektioner, kloridprofiler, sensorteknologi, levetids opdatering og forudsigelse. Tiden er "nu" i tidevandszonen og indenfor få år i plaskezonen

- › Relevante reparationsstrategier?



COWI

Farøbroerne - Levetidsanalyse - relevante strategier

- › Strategi A: Forebyggende beskyttelse med brug af katodisk beskyttelse
 - › Magnetit anoder under vand
 - › Anoder i skårne riller over vand
- › Strategi B: Udskiftning af dæklag i kote -1,5 til +2



COWI

Farøbroerne - Reparationsomkostninger

Katodisk beskyttelse (KB)

- Forebyggende metode. Ca. 15 mill. DKK
- Levetid 25 år
- (Reparation og katodisk beskyttelse >> 15 mill. DKK)

Udskiftning af dæklag (kote -1,5 to +2)

- Ca. 60 mill. DKK
- Levetid 50 år

Evalueret baseret på 50 år inkl. drift- og vedligeholdelsesudgifter samt diskonteringsrate på 7%

Kost optimal løsning er KB

Farøbroerne - udført og i pipelinen

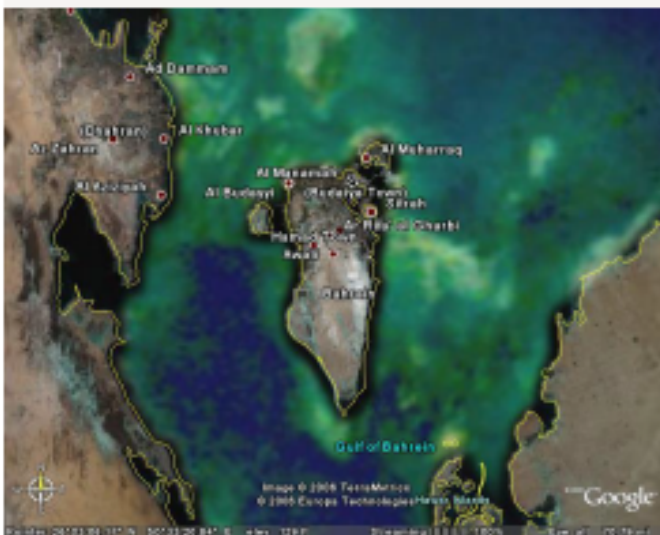
- › Vejdirektoratet - bevaring af samfundsværdier
- › Forebyggende foranstaltning
- › Undervandsanlæg etableret i 2007
- › Overvandsanlæg kote 0-2 m:
 - › SF broen 2008
 - › FF broen 2009
- › Overvandsanlæg kote 2-4 m
 - › 2016







Durrat Bahrain



13 broer

Sammenligning mellem rustfri stål strategi og katodisk beskyttelse



Langelandsbroen – udbedrende installation

1977-84

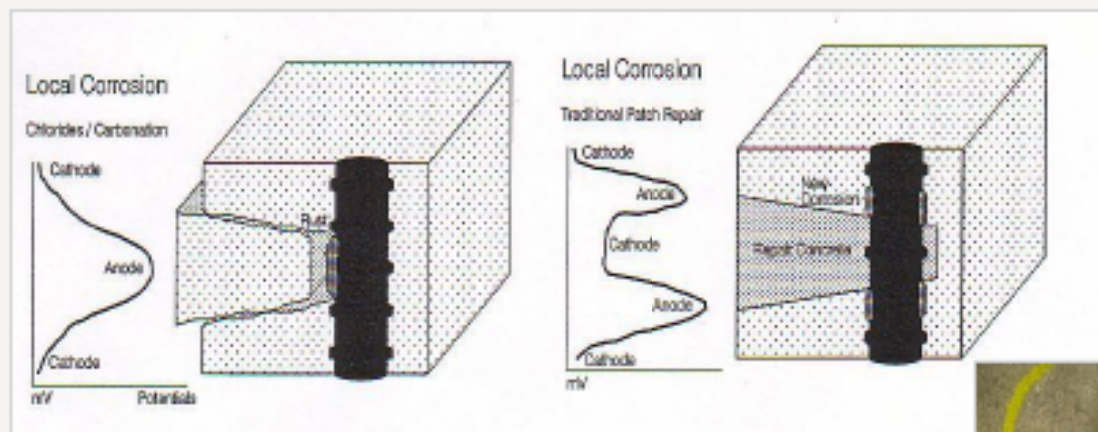


2003



Holdbarhed af traditionelle betonreparationer

- Pletreparation af korrosionsskader giver typisk nye skader efter 5–15 år (1–5 år i varmt klima)



27 | 25-11-2012



Langelandsbroen – katodisk beskyttelse

- 2003-2006
Pilotprojekt for pilleskaft og sokkel over vand (pille 7)
- 2008-2011
Pilletoppe 2008-2011
- 2009-2013
Pilleskaft inkl. sokler til pælement
- 2010-2013
Kassedragerbund (fra overside),
celle 2 og 4
- 2012
Pilotprojekt kassedrager bund
(fra underside), celle 1, 3 og 5



28 |

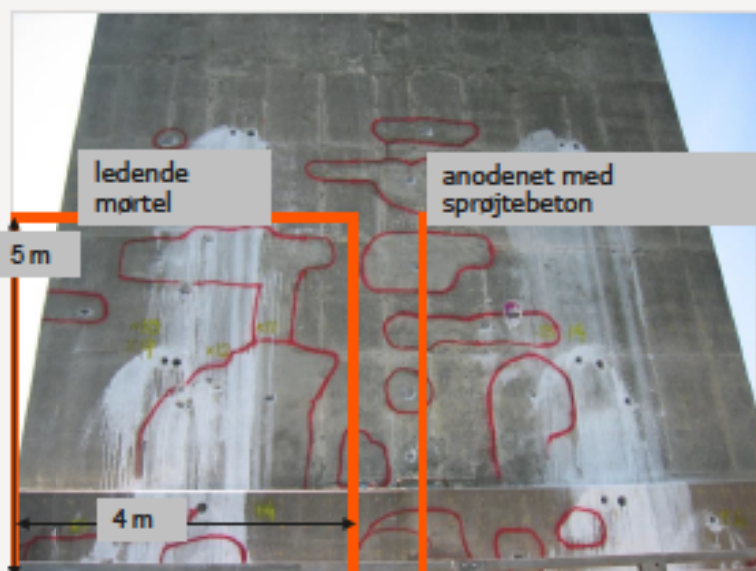
Langlandsbroen – pilotprojekt pilleskaft og sokkel

› Formål at undersøge katodisk beskyttelse som mulig reparationsmetode mht:

- › effektivitet
- › holdbarhed
- › økonomi

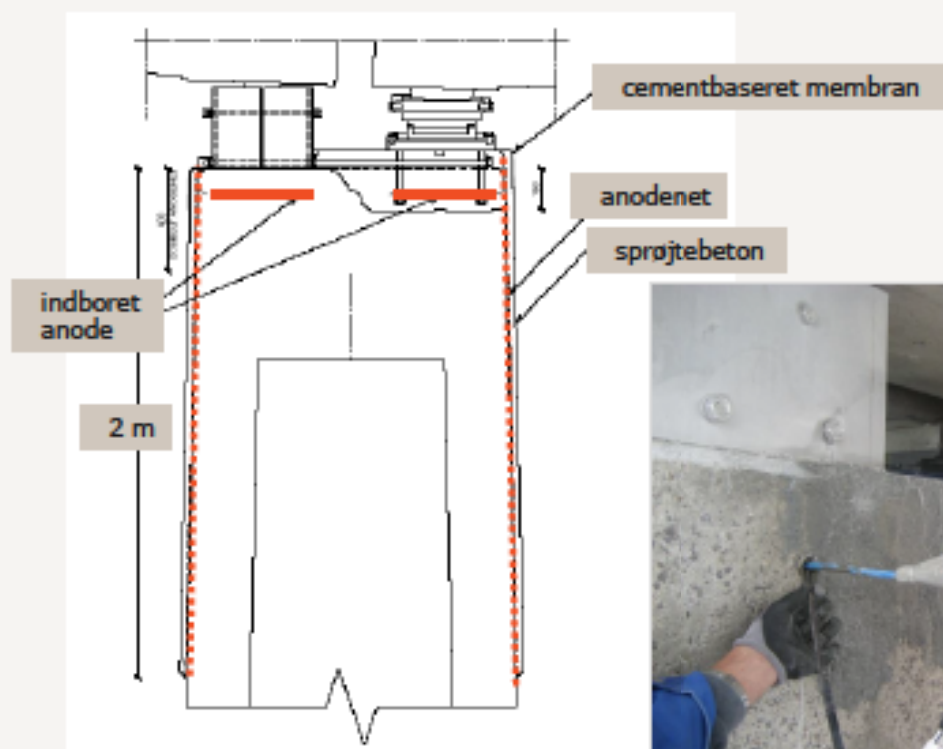
› 2 anodesystemer afprøvet:

- › ledende mørtel (Emaco CP60 med Lidabånd som primæranode)
- › anodenet med sprøjtebetonoverdækning



29 |

Reparation og installation af katodisk beskyttelse, pilletoppe



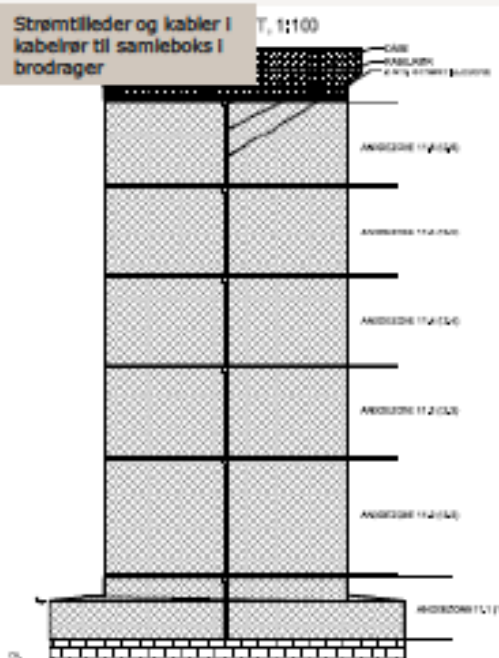
30 |

Reparation og installation af katodisk beskyttelse, pilleskafter inkl. sokler til parement

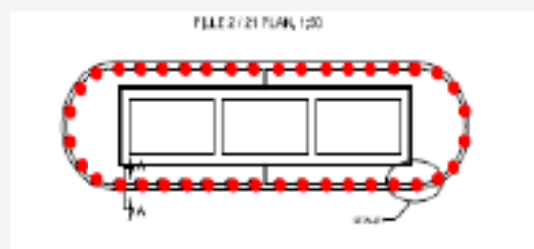
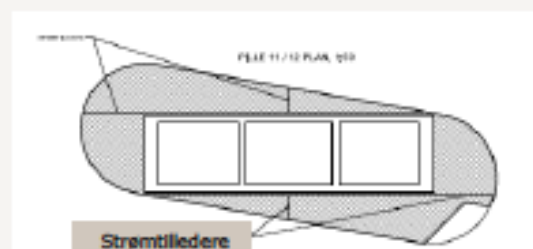


Anodenet på pilleskaft

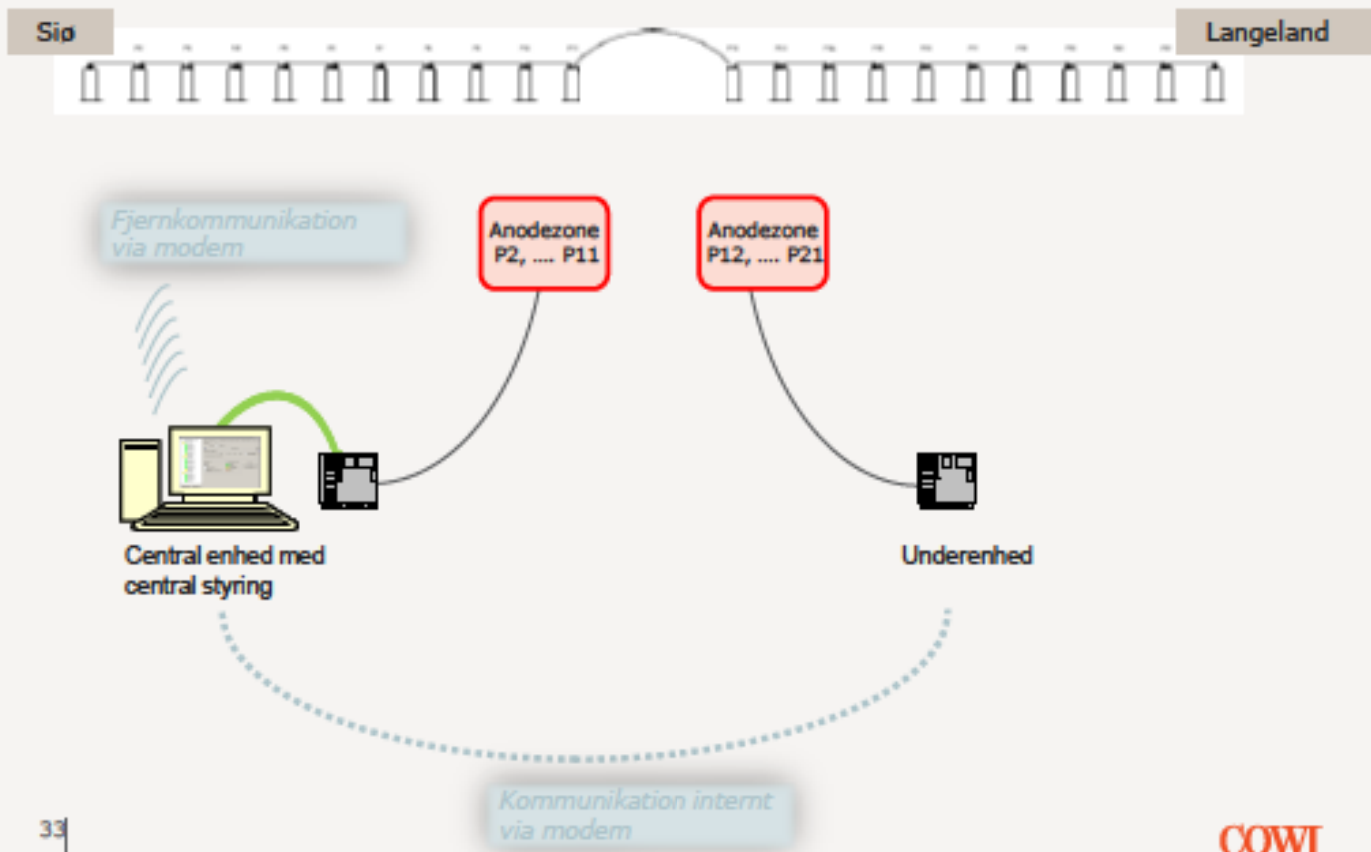
COWI



Reparation og installation af katodisk beskyttelse, pilleskafter inkl. sokler til parement



Ensretter, styresystem og datalogger



33

COWI

Pilotprojekt (2012) – optimering teknisk/økonomisk

- › Underside kassedrager (fag 13), celle 1, 3 og 5
– 3 anodesystemer



Tape system: Ti-tape med MMO og ledende mørtel dæklag



Cassette system: Titan bånd med MMO i kassetter med mineraluld og ledende hygroskopisk væske.



Telpro bånd system: Ti-bånd med MMO og sprøjtebeton dæklag



COWI

Havn – SSAB- Oxeløsund/Sverige 2006-2014



Skader

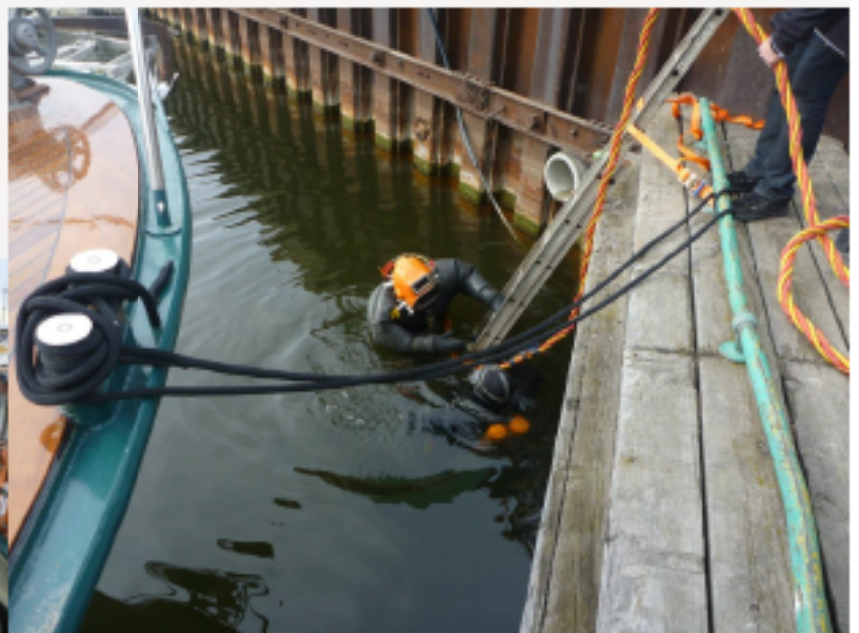


SSAB – Stålhavn



Sveriges største dykkerentreprise

<http://www.svtplay.se/klipp/539850/historiskt-stort-dykarbete>



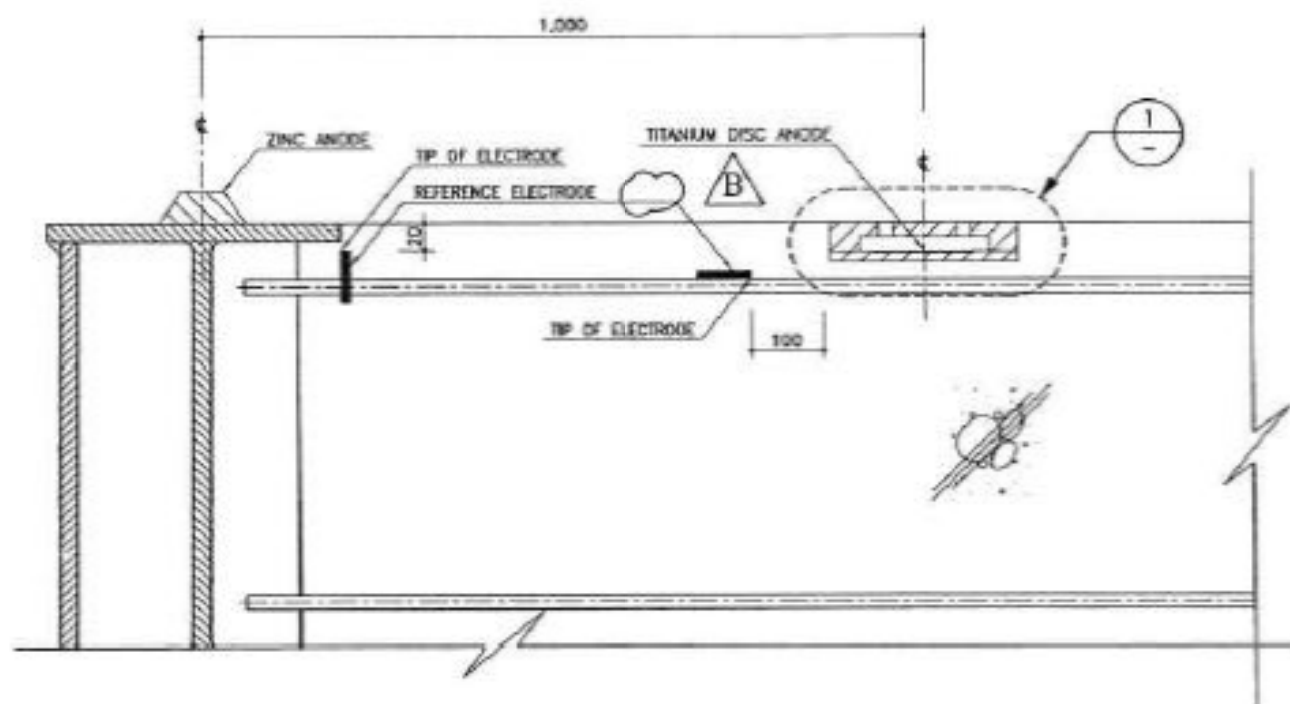
Busan-Geoje tunnelen i Korea – stål ende rammer



39 |



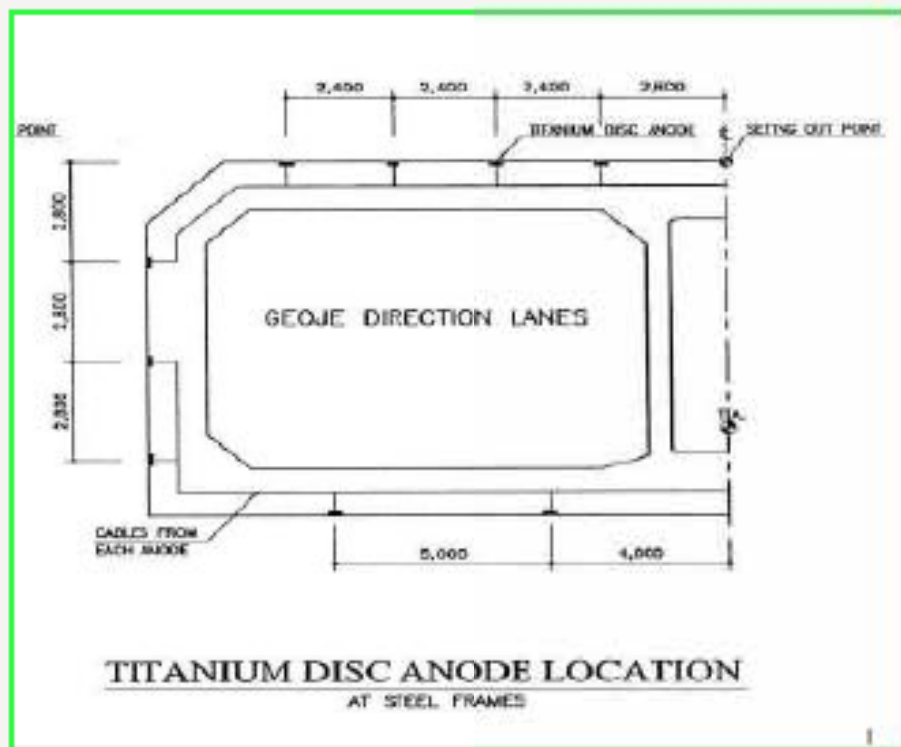
COWI



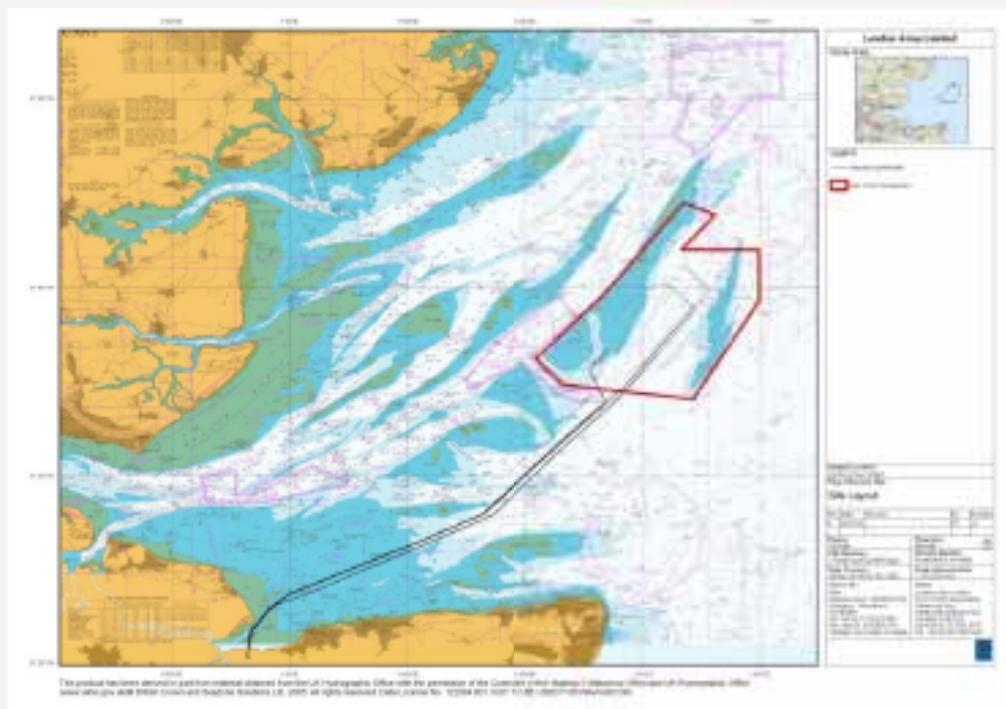
40 |

COWI

Anode placering

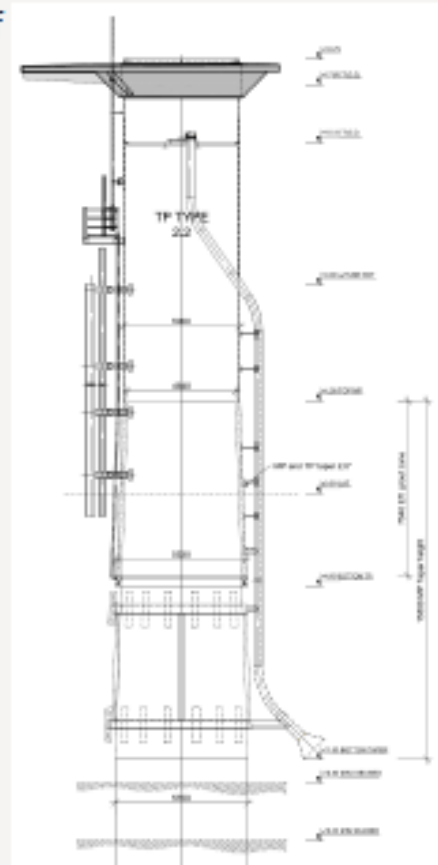
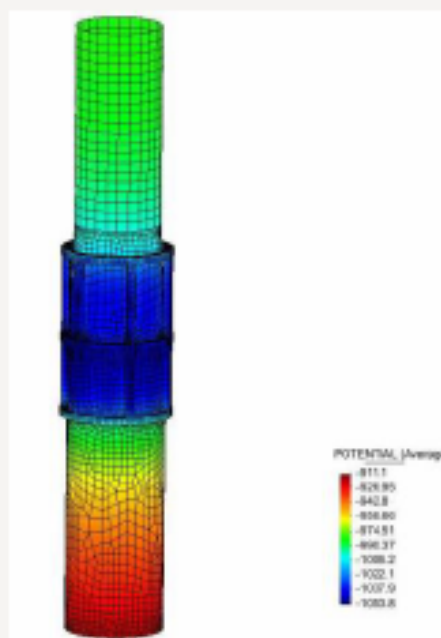


Vindmøllefundamenter



Vindmølle fundamenter i havvand

- > Offer anoder, dokumentation af at polarisering af stål er tilstrækkeligt i hele levetiden
- > BEASY-modelling

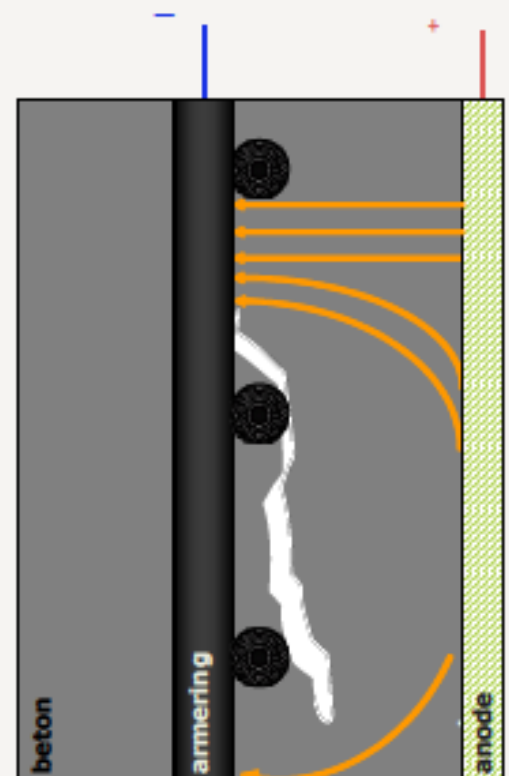


Forudsætninger for anvendelse

- > Bæreevnen skal være intakt
 - > Katodisk beskyttelse retablerer ikke bortkorroderet armering
- > Dæklagets kvalitet skal være tilfredsstillende
- > Armeringen skal være elektrisk sammenhængende - kontinuert

Dæklagets kvalitet

- > Delamineret dæklag, stenreder, dårligt elektrisk ledende reparationer, ol. medfører mangelfuld beskyttelse af armeringen (se figur)
- > Armeringsnet i større reparationer (se foto) "skygger" for beskyttelsen af armeringen
- > Revner i dæklaget eller meget lille dæklag medfører risiko for kortslutning.

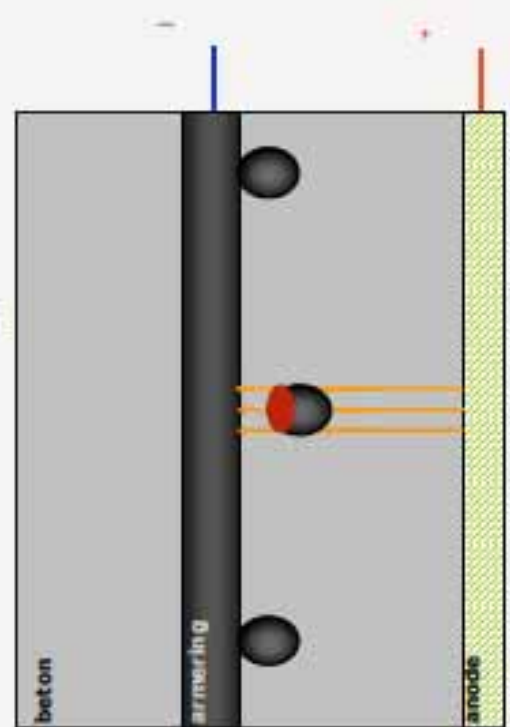


Armeringskontinuitet

Manglende elektrisk kontinuitet til metaldele medfører stor risiko for korrosion pga. vagabonderende strømme (vist på figur)

- > Det kan være armeringsstænger, spuns, inserts, etc. der ikke er elektrisk forbundet til den øvrige armering

Billede af bolt der i tre år har været placeret i elektrisk felt fra anode under vand uden at være forbundet til armeringen



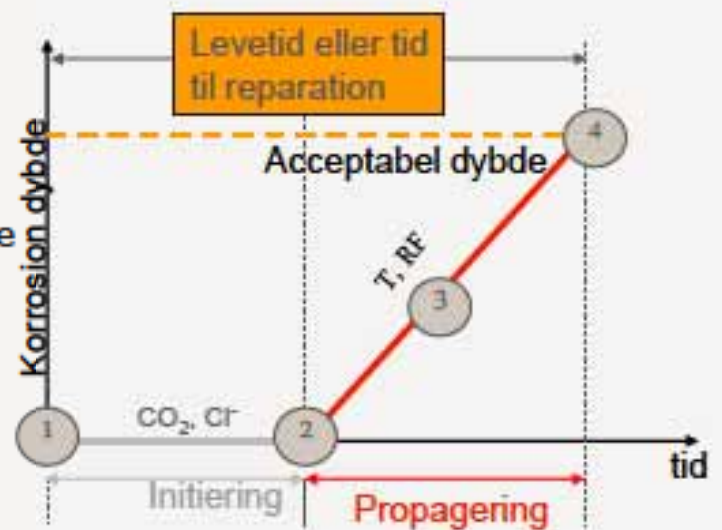
Hvor kan katodisk beskyttelse anvendes?

I princippet på alle konstruktioner, hvor der er metal (stål - rustfast og ikke rustfast, kobber osv. placeret i en elektrolyt (jord, vand, beton)

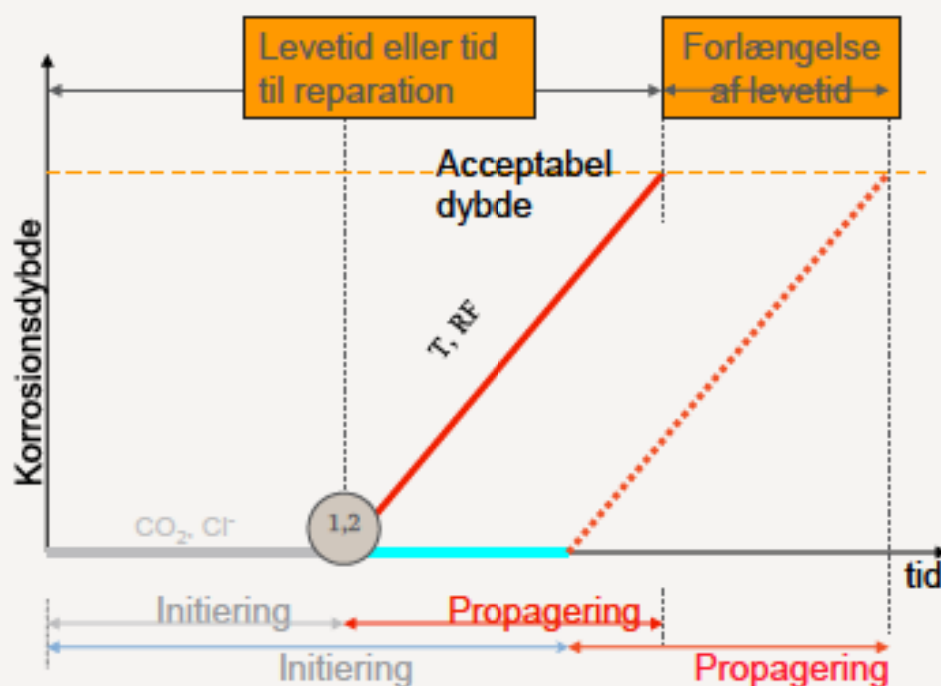
- > Armerede betonkonstruktioner
 - > Svømmeanlæg
 - > Bygninger
 - > Parkeringsanlæg
 - > Broer
 - > Tunneler
 - > Moler, kajanlæg, ...
 - > Off-shore konstruktioner
 - > Osv.
- > Stålkonstruktioner i jord og vand
 - > Havnekonstruktioner
 - > Off-shore konstruktioner
 - > Rørledninger
 - > Nedgravede tanke
 - > Osv.

Reparationsstrategier

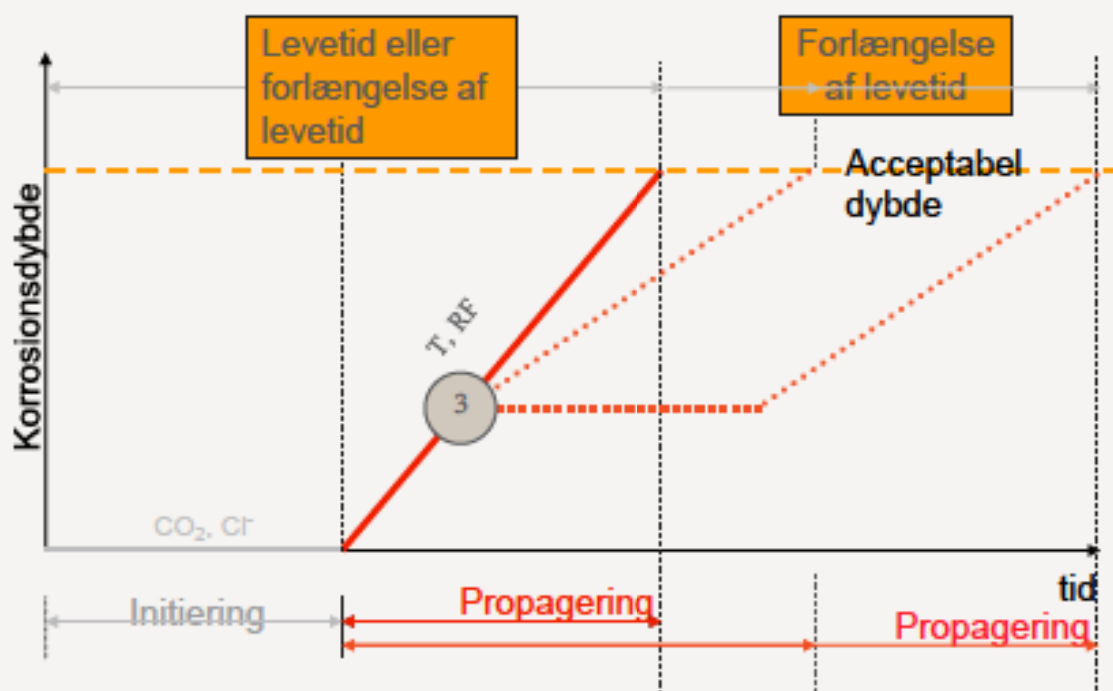
- › Overfladebehandling/membran
- › Traditionel reparation
- › Udskiftning af dæklag
- › Udskiftning
- › Elektrokemisk reparationsmetode
 - › Katodisk beskyttelse
 - › Re-alkalisering
 - › Kloridudtrækning



Installation af KB i initieringsfasen



Installation af KB i propageringsfasen. Korrosion er ikke en reversibel process

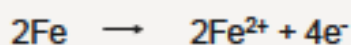


Princip

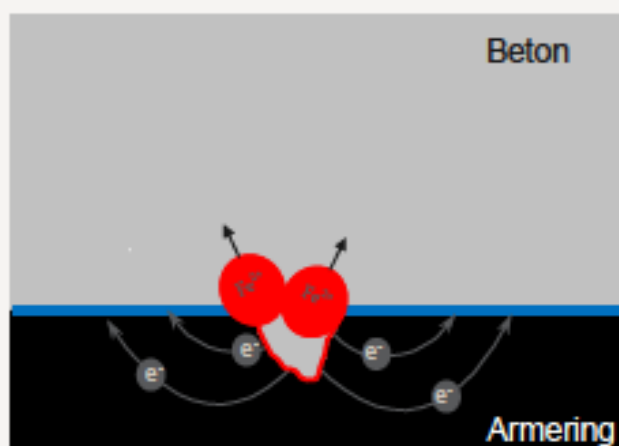
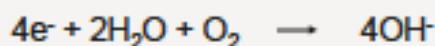
Katodisk beskyttelses - princip

- › Katodisk beskyttelse er en effektiv metode til at stoppe armeringskorrosion
- › Metoden kan anvendes forebyggende før nedbrydningen er begyndt eller som reparationsmetode når nedbrydningen er i gang

Anodereaktion:



Katodereaktion:

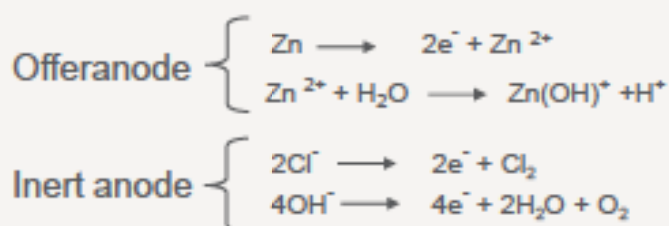


53 |

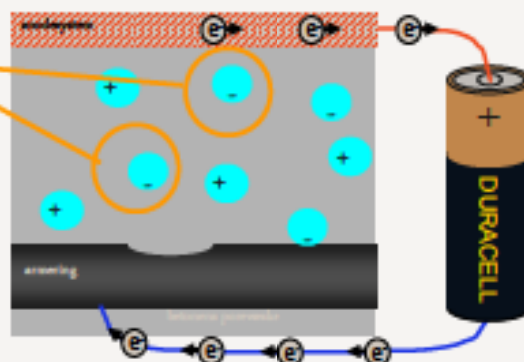
COWI

Katodisk beskyttelses - princip

- › Primær effekt: Forskydning af armeringens potentiale
- › Sekundær effekt: Forbedring af miljøet omkring armeringen

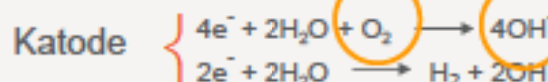


kloridioner og hydroxidioner
migrerer mod anoden



forbrug af ilt

produktion af
hydroxidioner



54 |

COWI

Konklusion

- › Katodisk beskyttelse kan anvendes på stål i elektrolyt
 - › Teknisk: forudsætning at stål hænger elektrisk sammen
 - › Teknisk: forudsætning at bæreevnen er intakt
 - › Teknisk: forudsætning at delaminerede områder er udbedret
 - › Økonomisk: billigere end alternativ over levetid
- › Katodiske anlæg skal vedligeholdes og drives i hele deres levetid
 - › Det skal ejeren være opmærksom på
- › Vejdirektoratets nyudviklede forvaltningssystem
 - › sikrer data
 - › giver alarm ved strømsvigt
 - › varslet tidspunktet for driftsrapportering
 - › lukker munden på de sidste skeptikere af katodisk beskyttelse