

Katodisk beskyttelse

Hvilke systemer kan benyttes og hvor?

Anodenet, anodebånd, indborede anoder, malingsystem og offeranoder.

Kim Cortez 1511-4, KICO@cowi.dk

Korrosions gruppen

Hvem er vi:

I Aarhus:

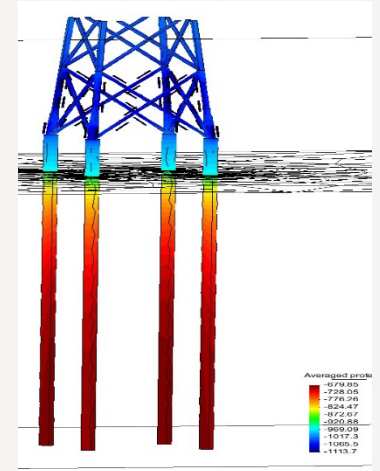
- > Kim Cortez (KICO)

I Lyngby:

- > Allan Andersen (AXA)
- > Jonas Kok (JKOK)
- > Philipp Ullrich Niemann (PHNI), coating specialist
- > Jacob Jansson (JAJA), also head of COWIs concrete and corrosion community.
- > Peter V. Nygaard (PVND)

Hvad laver vi?

- > Rådgivning om korrosionsbeskyttelse, dimensionering, kontrol og monitorering af anlæg for korrosionsbeskyttelse på alle typer konstruktioner
- > Coating systemer
- > Valg af materialer, rustfast ståltyper, galvanisering og coating.
- > Design og overvågning af katodisk beskyttelsessystemer (nye og eksisterende konstruktioner).
- > Design af korrosion monitorerings systemer f.eks. Cityringen, Storebælt forbindelsen, Limfjordstunnelen etc.
- > Havvindmøller, Broer, tunnels, betonkonstruktioner
- > Stål spuns, Svømmebassiner med kloridholdigt vand, fundamenter til havvindmøller, altaner osv.



Hvordan fungerer katodisk beskyttelse?

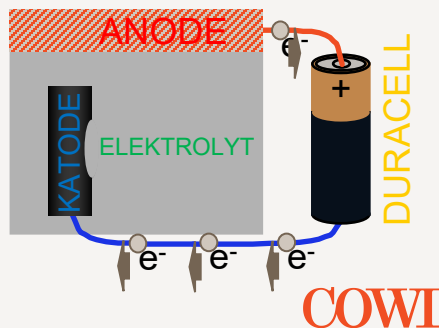
- Katodisk beskyttelse er en elektrokemisk metode til at forhindre korrosion samt at stoppe igangværende korrosion.

Begreber:

- Elektrolyt: Det medie der leder strømmen fra anode til katode f.eks. Beton/jord/vand
- Anode: Materialet der sender en strøm ud
- Katode: Ståloverfladen der skal beskyttes

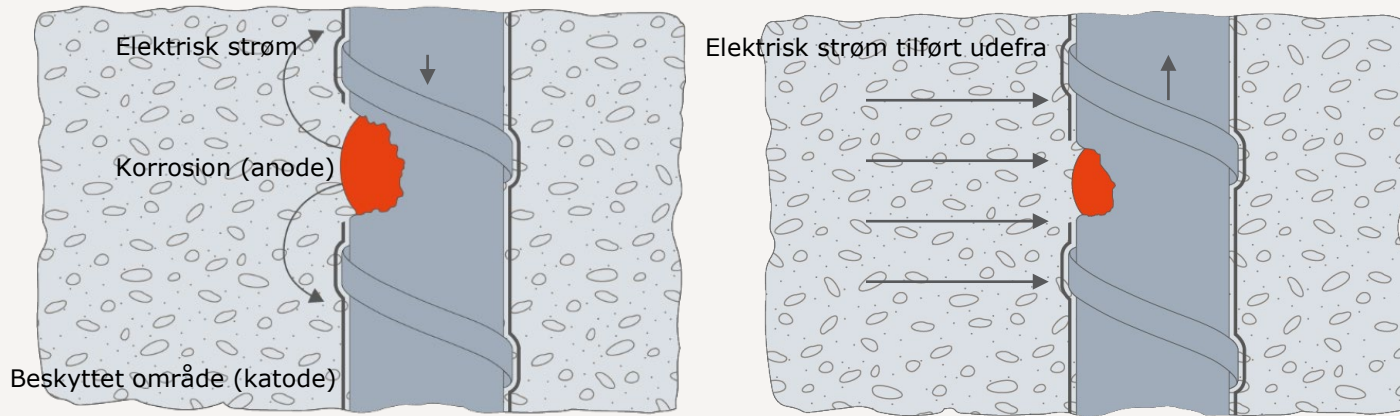
Hvordan: En elektrisk strøm ledes fra en anode, gennem en elektrolyt og ind i metallet der skal beskyttes. Det beskyttede metal bliver herved katode og deraf navnet katodisk beskyttelse.

	Betonkonstruktioner i jord/vand	Betonkonstruktioner i atmosfære
KATODE	Armering / rør / fundamenter	Armering
ELEKTROLYT	Betonens porevæske og jord/vand	Betonens porevæske
ANODE	Placeres i/på betonen eller et stykke fra denne i jord / vand.	Placeres i betonen



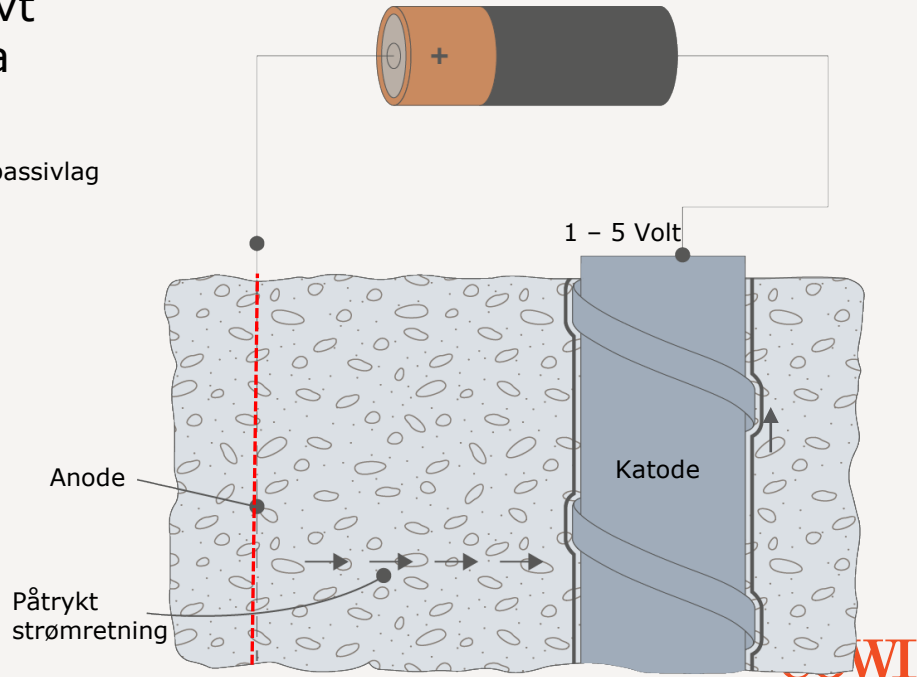
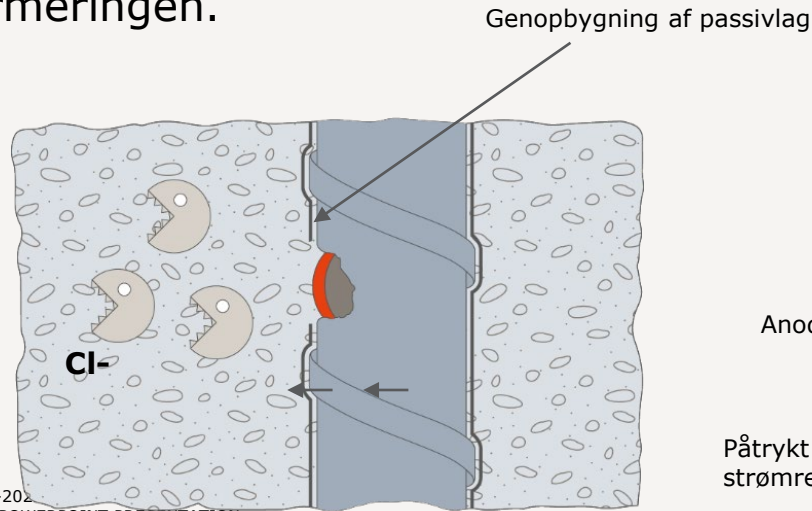
Kan armeringsjern beskyttes mod at ruste?

Ved tilførsel af elektroner forhindres stålet i at vende tilbage til et lavere energiniveau, og den elektrokemiske korrosionsproces (rustdannelse) kan ikke finde sted.



Katodisk beskyttelse

- > Ved katodisk beskyttelse genopbygges armeringens beskyttende passivlag, og skadelige kloridioner, der er negativt ladede tvinges til at vandre bort fra den nu negative minuspole - armeringen.



Hvad driver beskyttelsesstrømmen?

Offeranoder

Tabell 2. Den elektrokemiske spændingsserien ved 25° C.

Elektroreaktion Normalpotential
 e^- vs. volt

$Au \rightleftharpoons Au^{3+} + 3e^-$	+ 1,42
$2Cr^{3+} + 7H_2O \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^-$	+ 1,36
$2Cl^- \rightleftharpoons Cl_2 + 2e^-$	+ 1,36
$2H_2O \rightleftharpoons O_2 + 4H^+ + 4e^-$	+ 1,23
$Ag \rightleftharpoons Ag^+ + e^-$	+ 0,80
$Cu \rightleftharpoons Cu^+ + e^-$	+ 0,52
$Cu \rightleftharpoons Cu^{2+} + 2e^-$	+ 0,34
$\frac{1}{2}H_2 \rightleftharpoons H^+ + e^-$	0
$Pb \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2e^-$	- 0,13
$Sn \rightleftharpoons Sn^{2+} + 2e^-$	- 0,14
$Ni \rightleftharpoons Ni^{2+} + 2e^-$	- 0,23
$Co \rightleftharpoons Co^{2+} + 2e^-$	- 0,27
$Cd \rightleftharpoons Cd^{2+} + 2e^-$	- 0,40
$Fe \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^-$	- 0,44
$Cr \rightleftharpoons Cr^{3+} + 3e^-$	- 0,71
$Zn \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2e^-$	- 0,76
$Mn \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2e^-$	- 1,05
$Al \rightleftharpoons Al^{3+} + 3e^-$	- 1,66
$Ti \rightleftharpoons Ti^{2+} + 2e^-$	- 1,75
$Mg \rightleftharpoons Mg^{2+} + 2e^-$	- 2,38
$Na \rightleftharpoons Na^+ + e^-$	- 2,71
$Ca \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2e^-$	- 2,84
$K \rightleftharpoons K^+ + e^-$	- 2,92
$Li \rightleftharpoons Li^+ + e^-$	- 3,01

Påtrykt strøm – ensrettersystem



Fælles for begge systemer gælder:

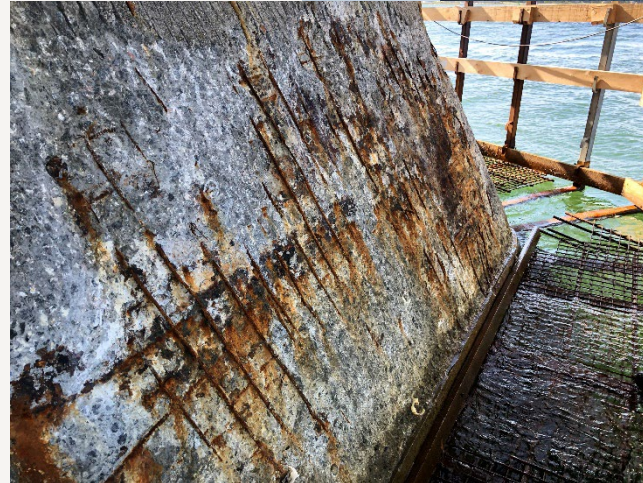
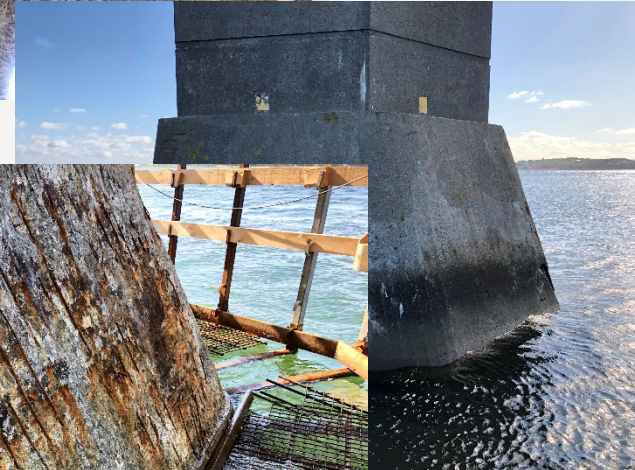
Ohm's lov:

$$U=R \cdot I$$



Typiske former for korrosion

- > Galvanisk korrosion, hvor to forskellige metaller er elektrisk koblet – det mest uædle metal korroderer
- > Atmosfærisk korrosion, korrosion af stål i luft, vand eller jord. Metallet omdannes til (laveste energiniveau) – jernoxid.
- > **Korrosion af stål i beton, som følge af:**
 - > Karbonatisering, reducerer pH i betonen
 - > Kloridindtrængning, der nedbryder passiv laget på stålets overflade
- > Korrosion som følge af vagabonderende strømme (forekommer sjældent).



➤ Korrosionstyper

Vi arbejder med to typer af korrosion:

- Korrosion pga. karbonatiseret beton
- Klorid initieret korrosion

Karbonatisering:

Er den kemiske proces mellem kuldioxid (CO_2) i den atmosfæriske luft og calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) i betonens porevædske. Reaktionsprodukterne er kalk – (CaCO_3) og vand H_2O .



Klorid initieret korrosion:

Er den farlige korrosionstype. Kloriderne nedbryder den naturlige korrosionsbeskyttelse der findes i betonen pga. den høje pH – ca. pH på ca. 13.

Kloriderne angriber armeringen og skaber en meget lokal korrosion – grubetærring, der omtræder ligesom et hul i en tand. Lille overflade men stort hul inde bag overfladen.

Anodetyper

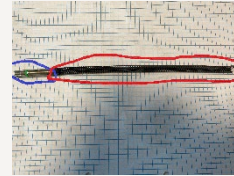
Offeranoder

- Zink anoder
- Aluminiums anoder
- Magnesiums anoder



Påtryktstrøm anoder

- Anodenet
- Anodebånd
- Indborede anoder
- Offeranoder
- Ledende maling



Og hvilke systemer kan vi så benytte?

Offeranoder

Kan benyttes hvor vi har en god elektrolyt med en meget lav elektrisk modstand.

Iht. Ohm's lov:

$$U = R \cdot I$$

Hvad driver strømmen?

Metallernes indbyrdes spændingsforskel

Fe = -0,44 V og

Al = -0,76 V

Zn = -1,05 V

Mn = -1,66 V

Hvilket betyder en spændingsforskel på ca.

320 mV – 610 mV iht. spændingsrækken, men korroderet

stål har et lavere potentiale, så vi regner med en

spændingsforskel på 250 mV ved dimensionering for både

Al og Zn pga. legeringer.

Påtrykt strøm - ensretter

Der benyttes anoder af titan belagt med ædelmetaller MMO-anoder er mest brugt, men ledende maling benyttes også, hvor det er muligt.

Det gælder for anodenet, anodebånd og indborede anoder. De er alle lavet af samme metal og er stort set uforgængelige.

Der kan vi så påtrykke den spænding vi har behov for 0 - 24 volt, dog maksimalt 8 volt ved anoden.

Anode systemer (Ti-mmo)



Hvor anvendes de forskellige systemer i betonkonstruktioner?

Anodebånd

- > Støbeskel
- > Lokal beskyttelse f.eks. Knast i svømmebade.
- > Søjler
- > Smalle konstruktioner
- > Område mellem gammelt beton med klorider og ny beton uden klorider
- > Hvor geometrien ikke må ændres på eksisterende konstruktioner

Anodenet

- > Store overflader
- > Gulve (promenadedæk)
- > Bro fundamenter
- > Søjler
- > Vægge

Indborede anoder

- > Lokal beskyttelse
- > Slanke konstruktioner
- > Bjælker
- > Søjler
- > Drager
- > Hvor geometrien ikke må ændres på eksisterende konstruktioner

Ledende maling

- > Indendør
- > Tør konstruktion
- > Varm konstruktion
- > Hvor geometrien ikke må ændres
- > Drager, bjælker, søjler hvor belastningen ikke må øges.

Fordele og ulemper:

Anodebånd

Ulemper:

- > Skal rilles ind i eksisterende konstruktioner
- > Kan nemt kortslutte til armeringen i nye konstruktioner
- > Konstruktionen skal overfladebehandles

Fordele:

- > Ingen forøgelse af konstruktionens vægt.
- > Konstruktionens geometri ændres ikke
- > Simpel kabelføring
- > Monteres i længder – leveres i 25 meters længde

Anodenet

Ulemper:

- > Hvis det lægges direkte på armeringen skal der beskyttelsesnet op først – fraisolering
- > Ekstra betondækklag på eksisterende konstruktioner
- > Geometrien ændres
- > Forøgelse af egenvægten på konstruktionerne

Fordele:

- > Store overflader beskyttes
- > Simpel kabelføring
- > Hurtigt at montere på eksisterende konstruktioner
- > Forholdsvis lav omkostning per. m²

Indborede anoder

Ulemper:

- > Skal monteres per ca. 250 - 300 mm.
- > Hver anode skal have strøm
- > Der skal bores et Ø12 mm for hver anode der skal undersøges
- > Kablerne skal rilles ind eller lægges i kabelbakker
- > Hvert hul skal kontrolmåles for kortslutning
- > Ofte ska del bores ekstrahuller pga. Armeringens placering
- > Hver enkelt anode skal kontrolmåles efter montage
- > Kompliceret kabelføring
- > Mange samledåser
- > Dyrt at installere per m²

Fordele:

- > Lokal beskyttelse
- > Beskyttelse af tynde konstruktioner
- > Eftermontage er forholdsvis nemt

Ledende maling

Ulemper:

- > Fugt i betonen skal være lav
- > Høj temperature i betonen
- > Mange arbejds gange i montagen
- > Svært at zoneopdele
- > Problemer med metal i betonoverfladen og mellem betonoverfladen og armeringen
- > Dyrt per. m²

Fordele:

- > Ingen forøgelse af konstruktionens egenvægt
- > Stor strømkapacitet
- > Kan eftermonteres de fleste steder
- > Kan beskytte store flader
- > Skal afsluttes med en top coating i en vilkårlig farve

Og så er der lige:

Offeranoder indstøbt i betonen.

Galvashield anoder beregnet til indstøbning i betonen.

De regnes ikke med herhjemme at kunne benyttes til katodisk beskyttelse af store områder. De kan benyttes til meget små områder i støbeskel. Anodernes strømafgivelse kan ikke kontrolleres og de forgår efter en årrække. Når de er brugt op er der en eller anden form for "hul" i betonen.

De er benyttet i meget små områder, hvor der er et støbeskel. Effektiviteten af dem er usikkert.



Forundersøgelser

- På armeringstegninger kontrolleres det, om armeringen kan forventes at være elektrisk kontinuert
- Kontinuitet verificeres ved prøvning på konstruktionen:
 - Mellem armeringen i konstruktionsdele indenfor samme anodezone
 - Mellem armeringen i forskellige konstruktionsdele
 - Mellem armeringen og metaldele
 - Klorid målinger
 - Elektrokemiske potentialemålinger (EKP)



Forundersøgelser – egnethed af katodisk beskyttelse

- > Er konstruktionens bæreevne intakt?
 - > hvis ikke kan bæreevnen retableres ved ilægning af supplerende armering?
- > Er dæklagets kvalitet tilfredsstillende?
 - > hvis ikke
 - kan dårligt ledende reparationer fjernes?
 - kan delaminerede områder mv. udbedres?
 - kan lille dæklag forøges, så kortslutning undgås?
- > Er armeringen elektrisk sammenhængende?
 - > hvis ikke kan armeringskontinuitet etableres?



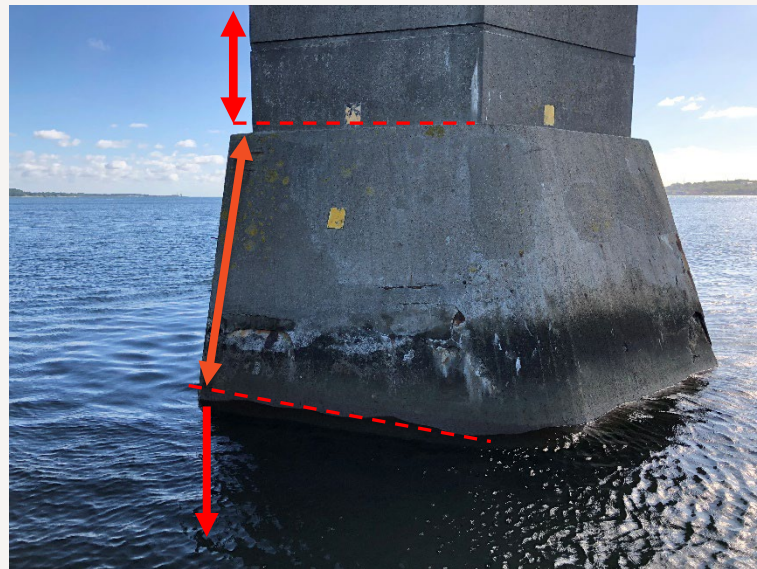
Hvis JA kan katodisk beskyttelse anvendes som
korrosions beskyttelsesmetode

Hvilke konstruktioner kan vi så beskytte?

- De bærende konstruktioner, søjler, bjælker og drager
- Konstruktioner hvor omkostningen ved renovering er store f.eks. Svømmehaller, konstruktioner på vand f.eks. undersiden af broer

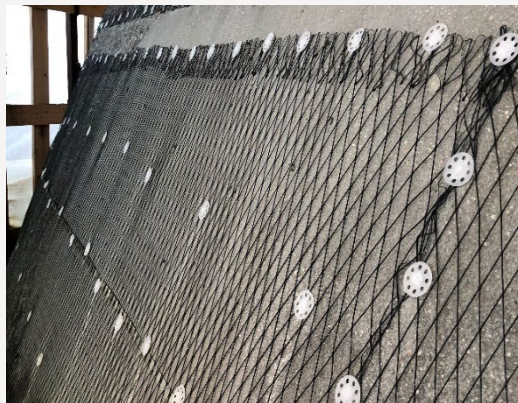
Projektering af katodisk beskyttelse

- > Granskning af armeringstegninger og beregning af stål arealer
 - > Designstrøm 2-20 mA/m² stål overflade.
- > Opdeling af konstruktionen i anodezoner efter miljø / behov for beskyttelse
- > Valg af anodesystem (Ti-MMO)
 - > Net
 - > Indborede anoder
 - > Bånd
 - > Ledende maling
- > Valg af ensretter – (kombineret strømforsyning og målesystem)



Anode-systemer (påtrykt strøm)

- > Net – til større overflade hvor der kan påføres sprøjtebeton / pudslag



Anode-systemer (påtrykt strøm)

- › Indborede anode – til søjler, bjælker og mindre konst. Dele
 - › Ikke behov for påstøbning
 - › Kan "skjules" i konstruktionen
 - › God til lokal katodisk beskyttelse



Anode-systemer (påtrykt strøm)

- › Bånd – til dæk / større flader som alternativ til net



Grundlag for projektering, udførelse og drift:

- > Design, udførelse og drift af katodisk beskyttelse er beskrevet i bl.a.:
- > Armeret beton:
 - > DS/EN 12696:2016
 - > NACE SP 0408 & SP 0290
- > Stål i havvand (offshore, spuns, etc.):
 - > DNV RP-B401
 - > EN 12473:2017

Drift og vedligehold

- › Evaluering af effektivitet iht. DS/EN 12696 (for armeret beton)
- › Typisk årlig kontrol af anlæg (besigtigelse) samt årlig vurdering af anlæggets funktionalitet – givet det fuld korrosionsbeskyttelse
- › Trenden går imod IOT / cloud baserede systemer med automatisk tolkning af data samt notifikationer ved behov for justeringer /fejl på anlæg.

Tak for jeres tid!