



Korrosionsskydd av stål i betongkonstruktioner – Handbok

Elforsk rapport 10:110



Göran Camitz

mars 2010

ELFORSK

Korrosionsskydd av stål i betongkonstruktioner - Handbok

Rapportutkast (version 6):

Av: Göran Camitz, Swerea KIMAB, Stockholm

Senast textändrad: 2010-03-05

Anslagsgivare:

FORMAS

ELFORSK

REBET

Förord

Stora stålarmade betongkonstruktioner, viktiga för samhällets funktion och säkerhet, är bl a. väg- och järnvägsbroar, vattenkraftdammar, vitala delar i kärnkraftverk, havsbaserade vindkraftverk, vattentorn och parkeringshus. Många är i allmänhetens ägo och ingår i samhällets infrastruktur. Hos flera av konstruktionerna har man observerat förtida, allvarliga åldrings-skador på grund av korrosion på det ingjutna stålet. Aktiviteter har inletts, bl a. inom Nätverket för Betongreparationer (REBET, c/o CBI Betonginstitutet), avseende dessa konstruktioners beständighet. För kärnkraftverken motiveras insatserna av den beslutade tekniska livslängdsökningen. Användning av olika typer av korrosionsskydd i syfte att öka konstruktionernas säkerhet och livslängd har blivit aktuellt. Man vill undvika att korrosionen går så långt att konstruktionen måste rivas eller att en renovering blir oskäligt dyr. Exempel på där detta har tillåtits ske är Slussen i Stockholm och Ölandsbron.

Korrosionsinstitutet (nu Swerea KIMAB) har i flera FoU-program bedrivit forskning på området sedan 1980- talet, vilket har resulterat i ett stort antal forskningsrapporter. Rapporterna har emellertid sådan utformning att det är svårt att tillgodogöra sig innehållet om man inte har ganska djupa kunskaper på området korrosion. Flera aktörer har därför uttryckt önskemål om en handbok som behandlar korrosion och korrosionsskydd av stål i betongkonstruktioner. Önskan har varit att den ska vara praktisk och lättförståelig för personer som är engagerade på området men som inte har några kunskaper om korrosionsprocesser. Det är en förhoppning att föreliggande skrift ska uppfylla det önskemålet.

Stockholm i ... 2010
Göran Camitz
författare

Förord

Innehåll:

Obs: kapitelnumreringen i Innehåll överensstämmer inte med kapitelnumreringen inne i texten

SAMMANFATTNING

1. INLEDNING OCH BAKGRUND

2. ALLMÄNT OM KORROSIONSPROCESSEN PÅ STÅL I FUKTIG MILJÖ

- 2.1 Begreppet korrosion
- 2.2 Strömtransport via elektronvandring respektive jonvandring
- 2.3 Resistivitet – Konduktivitet
- 2.3 Olika typer av korrosionsangrepp
- 2.4 Korrosionscellen
- 2.5 Korrosionscellens drivande faktorer
- 2.6 Hämmning av korrosionscellens verkan

3. KORROSION PÅ STÅL I BETONG

- 3.1 Betong som korrosionsmedium
- 3.2 Initiering och propagering
- 3.3 Kloridernas inverkan på korrosionen
- 3.4 Karbonatiseringens inverkan på korrosionen
- 3.4 Samverkan mellan klorider och karbonatisering
- 3.5 Korrosionshastigheter i praktiken
- 3.6 Skador på konstruktioner som följd av korrosion

4. METODER FÖR BEDÖMNING AV KORROSIONSTILLSTÅNDET HOS STÅL I BETONG

- 4.1 Allmänt om tillståndsbedömning
- 4.2 Visuell inspektion
- 4.3 Provtagning och kemisk analys av betongen
- 4.3 Mätning av betongens resistivitet
- 4.4 Potentialkartering
- 4.5 Mätning av potentialgradienter
- 4.6 Andra elektrokemiska bedömningsmetoder
- 4.7 För- och nackdelar hos mät- och bedömningsmetoderna

5. ARMERINGSSTÅL MED FÖRHÖJD KORROSIONSHÄRDIGHET

5.1 Rostfri stålarmering

Användningsområden - armeringsstänger
Andra användningsområden för rostfritt stål än till armering
Rostfria ståls kemiska/metallografiska uppbyggnad
Grupper av rostfritt stål
Standardbeteckningar
Rostfria stålsorter för armeringsstänger - Standardbeteckningar
Korrosionsegenskaper hos rostfria stål i betong
Rostfri armering i kombination med armering av kolstål
Mekaniska egenskaper hos rostfria stål i betong
Montagesvetsning av rostfri armering
Värmeutvidgning
Magnetiska egenskaper
Leveranskontroll av rostfria armeringsstänger
Praktiska aspekter vid montering av rostfria armeringsstänger
Slutkontroll efter montering
Relationshandlingar från färdigmonterad rostfri armering
Praktiska erfarenheter
Kostnader

5.2 Varmförzinkad stål

Användningsområden - armeringsstänger
Andra användningsområden för varmförzinkat stål än till armering
Fördelar med varmförzinkad stålarmering
Krav på stålet som ska förzinkas
Lämplig skiktjocklek
Applisering av zinkskiktet
Zinkskiktets uppbyggnad
Bockning av förzinkade armeringsstänger

- Korrosionsegenskaper i betong
- Vätgasutveckling vid ingjutningen
- Vidhäftning mellan zinkbelagd armering och betongen
- Korrosionshårdighet hos zinksiktet
- Acceptabel kloridhalt
- Förzinkad armering i kombination med obelags armering av kolstål
- Leveransk kontroll av zinksiktet
- Svetsning av förzinkade armeringsstänger
- Lagning av skadat zinksikt
- Praktiska aspekter vid montering av förzinkade armeringsstänger
- Slutkontroll efter montering
- Relationshandlingar från färdigmonterad förzinkad armering
- Kostnader

5.3 Epoxibelagt stål

- Användningsområden – armeringsstänger
- Andra användningsområden för epoxibelagt stål än till armering
- Applicering av epoxiskiktet
- Skyddsprincipen
- Hantering av epoxibelagda armeringsstänger
- Bockning av epoxibelagda armeringsstänger
- Leveransk kontroll av epoxiskiktet
 - Okulär kontroll
 - Kontroll med högspänningsporsökare
- Lagning av skadat epoxiskikt
 - Reparationsmaterial
 - Tillvägagångssätt
 - Upprepad kontroll av reparerade skador
- Praktiska aspekter vid montering av epoxibelagda armeringsstänger
- Slutkontroll efter montering
- Relationshandlingar från färdigmonterad epoxibelagd armering
- Praktiska erfarenheter
- Kostnader

6. KATODISKT KORROSIONSSKYDD

- Användningsområden
- Skyddsprincipen
- Katodiskt skydd med offeranoder
- Katodiskt skydd med påtryckt ström
- Inverkan på betongen från katodiskt skydd
 - Jonvandring
 - Syrabildning vid anoden
 - Gasutveckling
 - Alkalikiselsyrareaktioner i betongen
- Utrustning för katodiskt skydd i betong
 - Typer av offeranoder
 - Typer av strömmatade anoder
 - Strömkablar
 - Mätledningar
 - Ingjutna mätelektroder
 - Typer av strömutmatningsenheter
- Installation av katodiskt skydd
 - Elektrisk kontinuitet hos armeringen
 - Mätning av elektrisk kontinuitet
 - Offeranoder
 - Offeranoder för skydd av betongkonstruktioner ovan vatten/jord
 - Offeranoder för skydd av betongkonstruktioner under vatten/jord
 - Montering av offeranoder
 - Strömmatade anoder
 - Strömmatade anoder för skydd av betongkonstruktioner ovan vatten/jord
 - Strömmatade anoder för skydd av betongkonstruktioner under vatten/jord
 - Montering av strömmatade anoder
 - Dragning av strömkablar och mätledningar
 - Montering av strömutmatningsenheter
- Installationskontroll
- Funktionskontroll
- Relationshandlingar från färdiginstallerat katodiskt skydd
- Återkommande kontrollmätningar av katodiskt skydd
- Felsökning
- Praktiska erfarenheter
- Kostnader

7. ANDRA ELEKTROKEMISKA SKYDDSMETODER

7.1 Realkalisering

Användningsområden
Metodens funktion
Metodens påverkan på betongen
Förutsättningar för metodens användning
Provtagning för analys av betongens pH-värde
Instrumentering
Beräkning av armeringens totala stålyta
Kontroll av elektrisk kontinuitet hos armeringen
Alkalisk elektrolytlösning
Anodtyp
Strömkablar
Elektrisk utrustning för strömutmatning
Montering av anoden och strömkablar
Kontroll innan strömutmatning
Start av strömutmatning och injustering av utmatad ström
Återkommande kontroll av strömutmatning
Övervakning av alkaliseringsprocessen
Avslutning av alkaliseringsprocessen
Relationshandlingar från avslutad alkaliseringsprocess
Praktiska erfarenheter
Kostnader

7.2 Kloridutdrivning

Användningsområden
Metodens funktion
Metodens påverkan på betongen
Förutsättningar för metodens användning
Provtagning för analys av betongens kloridhalt
Instrumentering
Kontroll av elektrisk kontinuitet hos armeringen
Beräkning av armeringens totala stålyta
Anodtyp
Strömkablar
Elektrisk utrustning för strömutmatning
Montering av anoden och strömkablar
Kontroll innan strömutmatning
Start av strömutmatning och injustering av utmatad ström
Återkommande kontroll av strömutmatning
Övervakning av alkaliseringsprocessen
Avslutning av processen
Relationshandlingar från avslutad kloridutdrivning
Praktiska erfarenheter
Kostnader

8. EXEMPEL PÅ BETONGKONSTRUKTIONER SOM SKYDDAS MED KATODISKT SKYDD

- 8.1 Ölandsbron – Fyra låga pelare**
- 8.2 Ölandsbron – Kantbalkarna**
- 8.3 Smögenbron – Höga pelare**
- 8.4 Parkeringshus i Göteborg**
- 8.5 Betongkaj i Stenungssund**
- 8.6 Betongkaj i Oxelösund**
- 8.7 Betongramp i Tingstadstunneln i Göteborg**
- 8.8 Vattentorn på Ekerö, Stockholm**
- 8.9 Kylvattenvägar i Barsebäck kärnkraftverk**
- 8.10 Kylvattenvägar i Forsmark kärnkraftverk**

9. SVENSKA KOMPETENSCENTRA PÅ OMRÅDET KORROSION OCH KORROSIONSSKYDD AV STÅL I BETONG

10. LITTERATUR

Referenser
Standarder och vägledningar
Handböcker

11. APPENDIX: Ordförklaringar

1. INLEDNING OCH BAKGRUND

2. ALLMÄNT OM STÅL

Utgångsmaterialet för ståltillverkning är tackjärn, som utvinns av malm som har smälts ned med hjälp av koks och renats från urberg med hjälp av i en masugn. Tackjärnet är sprött på grund av den höga kolhalten, cirka 4 massprocent (cirka 10 volymprocent) och kan knappast bearbetas. Efter så kallad färskning, det vill säga sänkning av tackjärnets kolhalt till under 0,1 massprocent eller lägre med hjälp av syrgasinblåsning i en stålugn erhålls stål. Materialet stål kan bearbetas i olika grad beroende på kolhalt. Genom tillsats av olika legeringsmetaller kan stålet ges en rad olika betydelsefulla egenskaper, såsom bearbetbarhet, hållfasthet, värmebeständighet, hårdbarhet, svetsbarhet och korrosionshårdighet. Stål kan grovt delas in i tre kategorier, se **tabell X**.

Tabell X. Stålkategorier.

Konstruktionsstål:	Används för konstruktioner av olika slag, t ex. bärande eller kraftöverförande element i byggnader, maskiner och transportmedel. Stålet kan vara av typen rent kolstål, låglegerat stål och höglegerat stål. Ett exempel i föreliggande sammanhang är ”vanligt” armeringsstål av kolstål i betongkonstruktioner. För användning i aggressiva miljöer kan stålet beläggas med ett skikt zink eller plast.
Verktygsstål:	Används för verktyg avsedda för bearbetning, formgivning etcetera. Förekommer inte i betongkonstruktioner.
Rostfria stål:	Används för olika typer av konstruktioner i krävande och aggressiva miljöer. Det finns omkring hundra standardiserade rostfria stålsorter, vilka alla har olika egenskaper, bland annat mekanisk hållfasthet, svetsbarhet, värmebeständighet och inte minst korrosionshårdighet. Vanliga användningsområden är i kemiskteknisk- och cellulosaindustrin. Ett exempel i föreliggande sammanhang är rostfria armeringsstänger i kloridhaltig betong.

3. ALLMÄNT OM KORROSIONSPROCESSEN PÅ STÅL I FUKTIG MILJÖ

Begreppet ”korrosion”

Uttrycket ”korrosion” kommer av det latinska verbet ”corrodere”, som betyder ”gnaga sönder”. Rostning hos järn och stål är den mest kända formen av korrosion. Men denna, för metallen skadliga, process förekommer även hos de flesta andra metalliska material, såsom till exempel koppar, bly, zink och till och med rostfritt stål. Man talar också om att icke-metalliska material såsom betong, plaster och keramer kan skadas genom korrosion. Fortsättningsvis behandlas i första hand korrosion på järn/stål.

Elektrolyt och elektrokemisk process

Korrosion är en *elektro- kemisk process*, vilket innebär att det sker kemiska reaktioner på olika ställen på stålytan samtidigt som det flyter elektrisk ström av typen likström mellan samma ställen. Resultatet blir ett korrosionsangrepp, det vill säga en upplösning av stålet. För att processen ska kunna ske fordras det att metallen är helt eller delvis nedsänkt/inbäddad i en *elektrolyt* eller att det förekommer en förhållandevis tjock fuktfilm på metallytan, där även fuktfilmen är en elektrolyt. Med elektrolyt menas ett jonledande (”kan leda elektrisk ström”) medium, såsom till exempel vatten, jord och betong. Vatten leder ström bäst medan jord och betong leder sämst.

Korrosionen på stål i vatten sker under inverkan av förhållandevis få faktorer, främst syrehalt, lösta salter och temperatur. I betong är korrosionen mer komplex och sker under inverkan av ett större antal faktorer.

Resistivitet – Konduktivitet

Ett ofta använt mått på förmågan hos metaller och elektrolyter att leda elektrisk ström är mediets specifika resistans, ”*resistivitet*”, som är inverterade värdet av specifik ledningsförmåga ”*konduktivitet*”. Låg resistivitet innebär således god ledningsförmåga. Elektrolyter har tiotusentals högre resistivitet, alltså sämre ledningsförmåga, än metaller. Resistiviteten hos elektrolyterna vatten, jord, betong etcetera mäts vanligen med en speciell metod, den så kallade Wenner- metoden. Metoden, som är en 4- elektrodmetod, har olika mätuppställning beroende på den aktuella mätsituationen, Camitz (1980). Elektrolyter leder ström genom jonvandring, medan metaller leder ström genom elektronvandring. Båda dessa typer av strömtransport förekommer i korrosionsprocessen.

Olika typer av korrosionsangrepp

De kemiska reaktionerna och strömflödet, som sker under korrosionsprocessen, pågår i en så kallad *korrosionscell* på metallytan. I allmänhet förekommer det ett mycket stort antal korrosionsceller när stålet korroderar men det förekommer också situationer där korrosionsangreppet sker i endast en enskild korrosionscell. I det förra fallet blir korrosionsangreppet utspritt någorlunda jämnt över hela eller delar av stålytan, vilket kallas ”*jämn korrosion*” (tidigare

”allmän korrosion”). I det senare fallet blir angreppet koncentrerat till ett ställe, så kallad ”*lokal korrosion*”. ”*Gropfrätning*” är en variant av lokal korrosion. Vid gropfrätning är angreppet koncentrerat i form av en djup grop omgiven av mer eller mindre angripen stålyta. I många fall förekommer båda typerna av angrepp, det vill säga jämn respektive lokal korrosion, samtidigt. När den lokala korrosionen är koncentrerad till ett litet starkt begränsat ställe kallas den ”*gropfrätning*”. Se figur X.

Figur X. Olika typer av korrosionsangrepp på stål.

Korrosionscellen och elektrodreaktioner

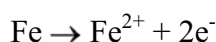
Korrosionscellen har tre komponenter: *anodytan* och *katodytan*, vilka båda föreligger på stålytan, samt *elektrolyten*, som har kontakt med både anod- och katodytan. I cellen flyter det en elektrisk ström, den så kallade ”*korrosionsströmmen*”, som går mellan anod- och katodytorna. Se figur X.

Figur X. Korrosionscell på stål i betong och andra elektrolyter. Övre bilden visar de elektrokemiska förloppen i cellen. Den nedre bilden visar korrosionsströmmens väg mellan anod- och katodytan.

Under korrosionsförloppet sker samtidigt vid anod- respektive katodytorna två skilda kemiska reaktioner. I och med att reaktionerna är elektrokemiska, det vill säga elektroner deltar i dem, kallas reaktionerna ”*elektrodreaktioner*”.

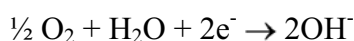
Oxidation och reduktion

Reaktionen på anodytan, där korrosionsströmmen lämnar stålytan, innebär att det sker en oxidation av stålet:



Stålet (Fe) löses upp och det frigörs elektriskt laddade järnjoner (Fe^{2+}) och elektroner (e^{-}), vilka båda går ut i elektrolyten (betongen). Här uppstår således själva korrosionsangreppet.

Vid katodytan (den närliggande eller avlägset belägna) går korrosionsströmmen tillbaka in i stålet och det sker en reduktion av ett oxidationsmedel. I betong är det syre (oxygen), vilket är löst i betongfuktigheten, som reduceras på katodytan:



Syret (O_2), som är löst i vattnet (H_2O) reduceras alltså av korrosionsströmmens elektroner (e^{-}) och det bildas hydroxidjoner (OH^{-}).

Järnjonerna, som frigörs på anodytan, förenas med hydroxidjonerna till järnoxid eller järnhydroxid, eller en blandning av dessa två, som fälls ut på stålet. Järnoxiden är en korrosionsprodukt, det vill säga ”rost”. Rosten på stål i starkt fuktig och syrefattig betong, såsom konstruk-

tioner under vatten och i jord, består vanligtvis av järnoxiden magnetit (Fe_3O_4). Rosttypen magnetit är mörkfärgad, näst intill svart. I syrerik betong, såsom i betongkonstruktioner ovan vatten/mark, består rosten av järnhydroxid (ungefär FeOOH). Rosttypen järnhydroxid har en ljusare kulör, rödbrun.

Elektrodpotential och den galvaniska serien

Samtliga metaller har en viss elektrisk *potential*, egentligen elektrokemisk potential eller elektrodpotential, när de är i kontakt med ett fuktigt medium, till exempel betong. Potentialen mäts med en millivoltmeter mot någon typ av standardiserad referenselektrod, **figur X**.

Figur X. Mätning av ett metallobjekts elektrodpotential i fuktigt medium.

Är metallen inte sammankopplad med någon annan metall och är metallen inte utsatt för ett flöde av elektrisk ström kallas potentialen *vilopotential* eller *fri potential*. Potentialens värde är beroende av ett antal faktorer, framför allt syrehalten i omgivande medium. Olika metaller har olika vilopotential. Metallerna har rangordnats efter sin vilopotential i den så kallade galvaniska serien, **tabell X**. Rangordningen har gjorts i en standardiserad vattenlösning. Vilopotentialen ger information om hur ädel respektive oädel metallen är.

Tabell X. Vanliga bruksmetaller rangordnade efter sin vilopotential i den galvaniska serien. Potentialerna är angivna mot referenselektroden av typ silver/silverklorid (Ag/AgCl_2) i havsvatten.

	Metall	Vilopotential (mot referenselektrod silver/silverklorid)	Ädelhet
Alltmer ädla metaller ↑	Guld		Mycket hög
	Platina		Mycket hög
	Silver		Mycket hög
	Rostfritt stål (i passivt tillstånd)		Hög
	Koppar och mässing		Hög
	Tenn		Hög
	Bly		Låg
	Järn/kolstål		Låg
	Aluminium		Låg
	Förzinkat stål		Mycket låg
	Zink		Mycket låg
	Magnesium		Mycketlåg

Korrosionsströmmen

Elektroreaktionerna ger upphov till en skillnad i elektropotential mellan anod- och katodytan. Potentialskillnaden, den elektriska spänningen, kan uppgå till i storleksordningen en volt. Potentialskillnaden alstrar en elektrisk likström, *korrosionsströmmen*. Strömmen flyter i betongen, genom jonvandring, ut från anodytan genom den fuktiga betongen till katodytan. Från katodytan flyter strömmen tillbaka till anodytan genom stålet via elektronvandring, och sluter därmed strömkretsen. Hur hög korrosionshastigheten blir på anodytan beror främst på hur stor potentialskillnaden är mellan anod och katod och lätt korrosionsströmmen kan flyta i korrosionscellen. Är betongens resistivitet låg (god elektrisk ledningsförmåga), kan strömmen flyta lätt och korrosionshastigheten bli hög.

Om av någon anledning ett av förloppen i korrosionscellen hämmas, kommer hela processen att ske långsammare. Försvåras till exempel syretransporten fram till katodytan kommer korrosionshastigheten att avta på anodytan. Syrediffusionen har en nyckelroll vid korrosion på stål i betong. Är betongens resistivitet hög (låg ledningsförmåga), försvåras flödet av korrosionsström varvid korrosionen förlöper långsammare. Man talar om att elektroreaktionerna *polariseras*, vilket alltså medför att korrosionsförloppet hämmas mer eller mindre.

4. KORROSION PÅ STÅL I BETONG

4.1 Betong som korrosionsmedium

Betongens pH-värde

När cement blandas med vatten och ballast hydratiserar cementen, det vill säga cementen reagerar kemiskt med vattnet varvid blandningen stelnar till betong. Vattnet i betongens porer blir då snabbt starkt alkaliskt, det vill säga dess pH-värde stiger drastiskt från omkring pH 7 till pH cirka 13. Denna alkaliska lösning består till största delen av natrium- och kaliumhydroxid.

Passivering av stålet

I sådan miljö som alkalisk betong passiveras kolstål, det vill säga sådant stål som vanlig stål-ärmering består av. Passiveringen innebär att det bildas svårslösliga järnoxider på metallytan, så täta att korrosionshastigheten blir försumbar. Detta passivskikt kan liknas med det passivskikt (kromoxid) på ytan hos rostfritt stål och som skyddar stålet från att rosta. Ändå korroderar kolstål i betong. I såfall har miljön närmast stålet förändrats i sådan grad att stålet inte längre kan behålla sin passivitet. Korrosion har initierats, stålet rostar.

Initiering och propagering

Man talar om två faser/perioder i samband med korrosion på stål i betong: *initieringsperioden* och *propageringsperioden*. Se [figur X](#).

Figur X. Initierings- och propageringsperioderna vid korrosion på stål ingjutet i betong.

Initieringen är den första fasen. Denna pågår en viss tid utan att stålet har börjat rosta, det vill säga passivskiktet är fortfarande mer eller mindre intakt. Men skiktet "attackeras" av aktiverande ämnen som tränger in till stålet, vilka så småningom löser upp passivskiktet. Undersökningar har visat att kloridjoner förmår att bryta passiviteten lokalt även om porvätskan fortfarande är mycket alkalisk.

Karbonatisering

Det höga pH-värdet i porvätskan reduceras också om luftens koldioxid tränger in i betongen, så kallad *karbonatisering*. Då sänks pH-värdet och stålytans passivskikt löses upp. Stålet är då inte längre skyddat mot angrepp. När korrosionsprocessen väl har satt igång, initierats, bestäms angreppshastigheten främst av hur snabbt luftsyre (syrgas) transporteras fram till metallytan, och stimulerar de katodiska reduktionsreaktionerna. Efter initieringen, det vill säga under den åtföljande propageringsperioden, kan korrosionshastigheten variera inom vida gränser.

4.2 Kloridernas inverkan på korrosionen

Korrosionsskador som uppträder överraskande tidigt i till exempel betongbroar beror ofta på att det förekommer höga halter klorid i betongen. Klorider kan tillföras direkt vid gjutning i form av kloridhaltiga delmaterial och tillsatsmedel eller indirekt som havsvatten och vägsalter.

Vid högt pH-värde i betongens porvätska närmast stålytan och utan närvaro av klorider är, som tidigare sagts, stålytan överdragen av en tät och skyddande hinna av järnoxider, vilken passiverar stålet mot korrosion. Stålytans fria korrosionspotential är under sådana betingelser mycket ädel, det vill säga elektriskt positiv. Kloriderna har förmågan att lokalt bryta ned oxidskiktet även om pH-värdet är högt. Stålets potential vid genombrottsstället sjunker drastiskt till ett oädelt (mera negativt) värde. Den potentialskillnad, spänning, som uppstår mellan genombrottsstället (anoden) och oxidtäckt stålyta (katoden) utgör drivkraften i den galvaniska korrosionscell som uppstår, **figur X**. Korrosionsmekanismen liknar mekanismen vid kloridinitierad gropfrätning på rostfritt stål.

Kloridhaltens tröskelvärde

Korrosionsprocessen startar när en viss kloridkoncentration, kloridkoncentrationens kritiska tröskelvärde (CCTL = Critical Chloride Threshold Level), uppnåtts vid armeringsstången. Tröskelvärdet är inte ett exakt värde utan är beroende av flera faktorer som t ex betongsammansättningen och den yttre miljön omkring konstruktionen, (5). I många länder används dock ett praktiskt tröskelvärde. För slakarmerade konstruktioner tillämpas tröskelvärdet 0,4 viktprocent av cementen och för spännarmerade konstruktioner 0,2 viktprocent av cementen. Det finns emellertid exempel på där korrosion börjat vid lägre kloridhalter än de nämnda.

Korrosion orsakad av klorider leder vanligen till djupa lokala angrepp på armeringen. Anledningen antas vara att det uppstår korrosionsceller där katodytorna kan utgöras av stora delar av armeringen medan anodytorna är förhållandevis små. Vid stort areaförhållande katod/anod och vid god syretransport till katodytorna kan korrosionshastigheten bli mycket hög på anodytorna, mer än 1 mm/år.

Kloridernas förekomstformer

Klorid förekommer i tre olika former i betong nämligen kemiskt bundet, fysikaliskt adsorberat till porväggarna och som fria klorider. Det råder alltid jämvikt mellan de olika faserna, vilket innebär att om t ex koncentrationen av fria klorider ökar, så binds större mängd fysikaliskt och kemiskt. Det ingjutna stålet påverkas endast av de fria kloridjonerna i porvätskan.

Undersökningar vid Cement och Betong institutet har visat att cementhalten och cementtypen i en betongkonstruktion är av stor betydelse för initieringsprocessen vid yttre påverkan av klorider. Högre cementhalt ger betongen bättre förmåga att binda kloriderna kemiskt.

Klorider bör inte gjutas in i betong eftersom detta ökar korrosionsrisken. Då tillskott sker från omgivande miljö uppstår en snabbare initiering. Betongens magasinering förmåga har då till stor del redan utnyttjats av de ingjutna kloriderna.

4.3 Karbonatiseringens inverkan på korrosionen

Med karbonatisering menas, som sagts tidigare, att koldioxiden i luften tränger in i betongen och reagerar med de kalciumföreningar(CaX) som finns i porvätskan, varvid det bildas kalciumkarbonat (CaCO_3).

Detta är en förenkling av de kemiska reaktionerna vid betongens karbonatisering, men denna enkla modell är tillräcklig för att förklara sammanhanget. När denna reaktion inträffar sänks

pH från cirka 13 till cirka 9. I och med pH-sänkningen har betongen inte längre någon skyddande verkan på stålet, det vill säga passiveringen av stålet upphör.

Karbonatiseringsfrontens inträngningshastighet bestäms framför allt av:

- koncentrationen av koldioxid som finns i miljön omkring betongen
- mängden kalciumföreningar, som finns i betongen (ökar med cementmängden)
- betongens täthet gentemot inträngande koldioxid

Generellt kan sägas att ju tätare betong desto längre tid tar det för karbonatiseringsfronten att nå fram till det ingjutna stålet.

4.4 Samverkan mellan klorider och karbonatisering

Karbonatiserad betong har inte samma förmåga att kemiskt binda klorider som den icke karbonatiserade betongen. Detta medför att järnvikten som tidigare förelåg mellan fri och bunden klorid förskjuts vid karbonatiseringen så att den fria kloridkoncentrationen ökar i porvätskan.

I en från början homogen kloridkoncentration i betongen, bildas successivt en koncentrationskillnad för kloriderna, där koncentrationen är störst en bit in från ytan. Koncentrationsskillnaden leder till en diffusionsprocess. Man brukar säga att karbonatiseringsprocessen "plogar in" kloriderna i betongen. En från början acceptabel kloridnivå vid armeringen kan på detta sätt bli för hög strax innan karbonatiseringsfronten når fram till armeringen.

4.5 Korrosionshastigheter i praktiken

När korrosionsprocessen startat tar det i normala fall mellan 10 och 20 år innan så omfattande skador uppstår att den praktiska livslängden är slut. Hastigheten kan dock påverkas men inte i samma utsträckning som initieringstiden.

Inverkande faktorer på korrosionshastigheten

Korrosionsundersökningar visar att fukt- och temperaturförhållandena samt syretillgången är avgörande för korrosionshastigheten hos ett ingjutet stål. I mycket torrt klimat kommer korrosionshastigheten att begränsas till följd av att den elektrolyt som finns mellan anod- och katodytor inte längre har nödvändig ledningsförmåga för ett snabbt angrepp, det vill säga korrosionshastigheten begränsas till följd av elektrolytbrist och hög elektriska resistansen i korrosionscellen. Å andra sidan kommer mycket fuktig miljö, som under vatten, att reducera korrosionshastigheten till följd av att syre som är nödvändigt för katodreaktionen bromsas i sin inträngning till katodytan. Här blir visserligen resistansen i korrosionscellen låg, men korrosionen begränsas alltså av syrebrist.

Kloridinitierad korrosion är ett mycket stort problem i dagens läge. Detta beror bl a på saltning av vägarna och inblandning av salt i betong som enaccelerator. Korrosionshastigheten för en kloridinitierad process är dåligt dokumenterad. Erfarenheten vid CBI är att kloridinitierad korrosion i många fall uppträder inom en 10-årsperiod. Som exempel kan nämnas att en del armeringstänger på Ölandsbron är helt avrostade efter ca 15år. Kloridnivåerna i betongpe-

larna under bron har på vissa ställen varit 2-6 % av cementvikten. Enligt litteraturen initieras korrosion redan vid en kloridhalt på 0,4 % av cementvikten.

Gradering av korrosionshastigheten

I utländsk litteratur (L. Bertolini et.al, 2003) förekommer gradering av korrosionens hastighet enligt följande:

<u>Grad av korrosionshastighet</u>	<u>Motsvarande korrosionshastighet</u>
------------------------------------	--

Obetydlig:	Lägre än 2 µm/år
Låg:	Mellan 2 och 5 µm/år
Måttlig:	Mellan 5 och 10 µm/år
Medelhög:	Mellan 10 och 50 µm/år
Hög:	Mellan 50 och 100 µm/år
Mycket hög:	Högre än 100 µm/år

4.6 Skador som följd av korrosionen

Rostens färgnyanser

De korrosionsprodukter, som bildas vid korrosionen, har den oönskade egenskapen att de har betydligt större volym än volymen hos det bortfräta stålet. Rosten får därigenom en sprängande verkan mot betongen. Det är detta faktum som medför att det ofta uppstår sprickbildningar i betongkonstruktioner som ett resultat av långt gången korrosion. Den sprängande verkan är störst hos korroderande konstruktioner i syrerik miljö, såsom i atmosfären, eftersom rosten får större volym vid god syretillgång. I syrefattig miljö, såsom under vatten och i jord, är rostens sprängande verkan mindre. Med tiden vandrar den svarta magnetit- rosten ut till betongytan där den oxideras och ändrar kulör till brunaktig färg. Bruna fläckar eller på betongytan är ofta ett tecken på att korrosionen hos det ingjutna stålet har gått ganska långt. Rinnande rost på betongen kan dessutom vara oestetiskt.

Sprickbildning

Sprickor i samband med korrosion i betongen orsakas alltså av att korrosionsprodukterna har större volym än ursprungsmetallen. Sprickbildningen accelererar korrosionsprocessen genom att ytterligare luftsyre och eventuellt kloridhaltigt vatten tränger in till armeringen. Vid långt gången korrosion sprängs täcksiktet bort och armeringen fungerar då inte längre som man förutsatt vid dimensionering av konstruktionen. Korrosionen på armeringen i betongen leder till en areareduktion av armeringsstången. När angreppet gått så långt att armeringen inte längre förmår uppta de yttre lasterna är livslängden slut. Sluttillståndet beror således på hur hårt utnyttjad armeringen är och om andra oskadade konstruktionsdelar kan samverka i lastupptagandet.

Brott på armeringen

Emellertid är det ovanligt att armeringsarean för slakarmerade konstruktioner reducerats så mycket att det uppstår brott. Däremot kan vidhäftningen mellan betongen och armeringen försämrats. Det normala skadefallet yttrar sig genom att det uppstår sprickor i täcksiktet framför den korroderade stången.

5. METODER FÖR BEDÖMNING AV KORROSIONSTILL- STÅNDET HOS STÅL I BETONG

Texten ännu ej klar

Allmänt om tillståndsbedömning

Visuell inspektion

Provtagning och kemisk analys av betongen

Mätning av betongens resistivitet

Potentialkartering

Mätning av potentialgradienter

Andra elektrokemiska bedömningsmetoder

För- och nackdelar hos mät- och bedömningsmetoderna

6. ARMERINGSSTÅL MED FÖRHÖJD KORROSIONSHÄRDIGHET

6.1 Rostfritt stål

Under 1980-talet introducerades armeringsstål med förhöjd korrosionshårdighet. Först kom varmförzinkade armeringsstänger och plastbelagda armeringsstänger av kolstål och snart därefter rostfria armeringsstänger utan skyddsbeläggning.

Användningsområden för rostfritt stål i betong

Armeringsstänger av rostfritt stål har använts i någorlunda stor omfattning sedan början av 1980-talet, framför allt i USA. Armering av rostfritt stål introducerades i Europa omkring tio år senare. I Europa har rostfri stålarmering fått stor utbredning i framför allt Tyskland, Italien, Storbritannien och Frankrike. Rostfri armering används oftast i det yttre armeringslagret, så kallad selektiv användning, både vid nybyggnation och vid reparation av korrosionsskadade konstruktioner.

Ett annat vanligt användningsområde är ingjutning av rostfria rörledningar, till exempel som dräneringsrör i väg- och järnvägsbroar. Rostfritt stål används också i konsoler och fästelement i betongfasader och betongväggar. Genom åren har det gjorts ett stort antal undersökningar av korrosionsegenskaperna och andra egenskaper hos rostfritt stål ingjutet i betong.

Fördelar med rostfri armering

På armeringsstänger av kolstål, som beläggs med zink eller epoxi, kan det uppstå mekaniska skador i skyddsbeläggningen varvid stålet blir exponerat för betongen. Rostfria armeringsstänger är inte belagda och har därför inte denna nackdel. Rostfri armering har samma korrosionshårdighet rakt igenom hela armeringsstången.

Rostfria ståls kemiska/metallurgiska uppbyggnad

Rostfritt stål är ”vanligt” stål, det vill säga stål utan tillsats av något legeringsämne, som i smält tillstånd i stålverket har tillförts ett eller flera legeringsämnen i vissa proportioner så att stålytan, när den senare kommer i kontakt med fuktig luft, överdras av ett mycket tunt och tätt, några nanometer tjockt, oxidskikt. Oxidskiktet skyddar effektivt stålet från att rosta och skiktet bildas och ”självläker” spontant i fuktig miljö. Det utgörs i huvudsak av kromoxid och därför är huvudlegeringsämnet i rostfria stål krom (Cr). För att oxidskiktet ska få önskade egenskaper fordras det att kromhalten är lägst 11 %. Är kromhalten lägre är det inte ett rostfritt stål, utan ofta ett ”vanligt” konstruktionsstål.

Andra legeringsämnen som ofta används i rostfria stål är nickel (Ni) och molybden (Mo). Nickel förbättrar stålets hållfasthet, svetsbarhet och korrosionshårdighet. Molybden har redan vid låga halter väsentligt förbättrande inverkan på stålets hårdighet mot både gropfrätning och spaltkorrosion, se nedan. En tumregel är att 1 % molybden motsvarar 3 % krom vad gäller beständighet mot korrosion i kloridhaltig miljö. I vissa stålsorter förekommer även titan (Ti), koppar (Cu) och kväve (N). Kväve kan till viss del ersätta det dyra legeringsämnet nickel.

Halten kol (C) är alltid mycket låg i rostfria stål, numera vanligen 0.05 % och oftast ett par hundra delar procent lägre. Undantag är de så kallade martensitiska rostfria stål. I dessa stål måste kolhalten vara högre för att stålet ska kunna hårdas.

Halten av dessa ämnen, och den inbördes proportionen dem emellan, bestämmer en rad egenskaper hos det rostfria stålet och därmed dess användbarhet i olika applikationer och miljöer. Det gäller framför allt hållfasthet, duktilitet, svetsbarhet, värmetålighet, värmeutvidgning och särskilt dess korrosionshårdighet. Det finns alltså inte ett rostfritt stål, utan ett stort antal sådana stål vilka alla har olika materialegenskaper. I dag finns det omkring hundra standardiserade rostfria stålsorter. Av dessa används endast ett fåtal för ingjutning i betong.

Stålstruktur - Grupper av rostfria stål

Om man polerar en stålyta så att den blir spegelblank och droppar någon typ av etsande syra på ytan och avlägsnar syran efter några minuter och slutligen betraktar ytan i ett mikroskop i några hundra gångers förstoring så ser man att stålet består av "sammankittade" metallkorn. Beroende på framför allt stålets kemiska sammansättning, det vill säga vilka legeringsämnen som har tillsatts i det flytande stålet vid framsällningen, och eventuell värmebehandling efter valsningen har metallkornen en viss karakteristisk struktur, den så kallade metallografiska strukturen.

Rostfria stål brukar delas in i fyra huvudgrupper efter deras metallografiska struktur i mikroskala. Grupperna är:

- a) Ferritiska rostfria stål,
- b) Austenitiska rostfria stål,
- c) Ferrit- austenitiska rostfria stål ("Duplex-stål") och,
- d) Martensitiska rostfria stål.

I figur X visas mikroskopbilder av de olika stålsorternas strukturer i 100 gångers förstoring.

Figur X. Mikroskopbilder av metallografisk struktur hos olika rostfria stålsorter.

Den metallografiska strukturen, alltså resultatet av tillsatta legeringsämnen och typ av efterföljande värmebehandling, bestämmer en lång rad egenskaper hos stålet, speciellt dess korrosionshårdighet och mekaniska egenskaper. Inom varje grupp finns det ett stort antal ståltyper. Den kemiska sammansättningen och de mekaniska egenskaperna är standardiserade.

Standardbeteckningar

Tidigare hade varje europeisk nation ett eget system för standardisering av rostfria stål, och även för andra typer av stål. Därmed hade länderna olika standardbeteckningar. Exempel är SIS (Sverige), DIN (Tyskland), BS (Storbritannien) och NF (Frankrike). Även de enskilda stålverken, till exempel Avesta och Sandviken, hade egna standardbeteckningar på sina stålsorter. På 1980-talet införde den europeiska standardiseringsorganisationen CEN (Centre Européenne de Normalisation eller, på svenska, Europeiska Centret för Standardisering) ett gemensamt, europeiskt standardiseringssystem för stål. Stål enligt detta system har prefixet EN (European Norm). Svenska standardbeteckningar med prefixet SS (svensk standard) lever dock fortfarande kvar i stor utsträckning. I USA används standardiseringssystemen ASTM

och ANSI parallellt med varandra. Arbete med att standardisera stålen på global nivå inom ISO-systemet pågår, men kommer förmodligen att ta lång tid innan det är avslutat. Det finns omkring ett hundra standardiserade rostfria stål enligt det europeiska standardiseringssystemet CEN.

De olika stålen, har som redan nämnts, olika materialegenskaper. Detta är av betydelse vid val av lämplig ståltyp för användning i betong.

Vanliga rostfria stål i betong

De tre vanligaste rostfria stålen, och deras kemiska sammansättning, som används i betong är införda i tabell X. Riktvärden enligt Outokumpu Stainless (tidigare Avesta Sheffield Stainless Steel).

Tabell X. Vanliga rostfria stålsorter i betongkonstruktioner. Riktvärden för kemisk sammansättning enligt Outokumpu Stainless, Avesta.

Stålsort				Kemisk sammansättning, mass-% (Riktvärden)				
Europeisk standard	Svensk standard	Amerikansk standard	Struktur	C max.	Cr	Ni	Mo	N
EN 1.4301	SS 2333	ASTM 304L	Austenitisk	0,03	18	8	-	-
EN 1.4436	SS 2343	ASTM 316L	Austenitisk	0,03	17	10	2	-
EN 1.4462	SS 2377	ASTM S32205	Ferrit-austenitisk	0,03	22	5,7	3	0,17

Not: C = kol, Cr = krom, Ni = nickel, Mo = molybden, N = kväve

Korrosionsegenskaper hos rostfritt stål i betong

Kännetecknande för korrosionsangrepp på rostfritt stål i betong och andra fuktiga miljöer är att de uppträder lokalt, framför allt i form av gropfrätning ("punktkorrosion"). Angreppet får vanligen ansenligt djup men dess utbredning i sidled är oftast liten. När väl korrosionen startat på rostfritt stål går angreppet på djupet med högre hastighet än på "vanligt" stål. Av den anledningen kan inte rostmån tillämpas på rostfria stål. På stål med låg kromhalt kan dock angreppen bli mera utbredda.

De korrosionstyper som kan uppträda på rostfria stål i betong är:

- Gropfrätning
- Spaltkorrosion
- Svetskorrosion (angrepp i eller invid svetsen; tre olika former med olika orsaker)

Gropfrätning uppstår spontant var som helst på stålytan vid förhöjd kloridhalt i korrosionsmediet. Spaltkorrosion sker i trånga spalter innehållande en vattenfilm, till exempel under påkrympta eller i gängade förband. Spaltkorrosion har likartad mekanism som den i luftningsceller. En rad förhållanden, bland annat det höga pH-värdet, gör att det är mindre troligt att spaltkorrosion kan uppkomma i icke-karbonatiserad betong. Gropfrätning och spaltkorrosion orsakas av klorider. Dessa båda korrosionstyper motverkas främst genom användning av stålsorter med hög halt av legeringsämnen krom och molybden i stålet.

Tre former av svetskorrosion, med olika orsaker, förekommer på rostfritt stål. Svetskorrosion motverkas genom val av stålsort som lämpar sig för den aktuella svetsmetoden samt genom att svetsningen och den efterföljande behandlingen av svetsen utförs i enlighet med vedertagna procedurer.

Vid hårdhänt hantering av rostfria armeringsstänger kan det skyddande passivskiktet på stålytan skadas mekaniskt. Undersökningar har dock visat att även om oxidskiktet skadas djupt så återbildas det repade skiktet snabbt och stålet återfår ”sekunds snabbt” sin rostfrihet, Sjögren m. fl. (2009).

Acceptabel kloridhalt i betongen

- Flera undersökningar har gjorts där man har jämfört korrosionshårdigheten hos olika rostfria stålsorter med hårdigheten hos kolstål i betong med olika kloridhalt, det vill säga man har kartlagt *kloridhaltens kritiska tröskelvärde*.
- Acceptabel kloridhalt i icke karbonatiserad betong: säker användning vid upp till 5% klorid av cementmassan för ”enkelt” rostfritt stål av typ ASTM 304L. Högre gränsvärde med molybdenlegerat stål
- Acceptabel kloridhalt i icke karbonatiserad betong: säker användning vid upp till 5% klorid av cementmassan för ”enkelt” rostfritt stål av typ ASTM 304L. Högre gränsvärde med molybdenlegerat stål

Sammankoppling med armering och andra ingjutningsstål av kolstål

- Rostfri stålarmring kan sammakopplas med armering av kolstål utan att kolstålsarmeringen utsätts för galvanisk korrosion
- Beror på:

Mekanisk hållfasthet

Tabell X. Mekaniska egenskaper hos rostfria armeringsstänger, enligt uppgifter från italienska ståltillverkare 1996.

Stålsort				Tillstånd efter slutlig valsning	Stångdimension, mm	Mekaniska egenskaper		
Europeisk standard	Svensk standard	Amerikansk standard	Struktur			Sträckgräns N mm ⁻²	Brottgräns N mm ⁻²	För-längning %
EN 1.4301	SS 2333	ASTM 304L	Austenitisk	Kallvalsad	10	671	831	21,4
EN 1.4307	SS 2352	ASTM 304L		Varmvalsad	20	761	864	27,9
EN 1.4401	SS 2347	ASTM 316			32	754	863	25,9
EN 1.4404	SS 2348	ASTM 316L			40	717	878	31,1
EN 1.4571	SS 2350	ASTM 316Ti			40	717	878	31,1
EN 1.4462	SS 2377	ASTM S32205	Ferrit-austenitisk	Kallvalsad	10	950	1059	14,0
EN 1.4362	SS 2327	ASTM S32304		Kall- eller varmvalsad	18	485	668	-

Svetsbarhet och montagesvetsning

De två typerna av rostfritt stål som används i betong, austenitiska och ferrit-austenitiska, har god svetsbarhet. Se **tabell X**.

Tabell X. Svetsbarhet hos rostfria stålgrupper.

Stålgrupp	Svetsbarhet
Ferritiska	Relativt god
Martensitiska	Dålig
Ferrit - austenitiska (duplex – stål)	God
Austenitiska	Mycket god

Svetsning på fabrik av rostfria armeringsnät utförs oftast med resistanssvetsning. Montage-svetsning, svetsning på plats, utförs vanligen med de gängse metoderna TIG- eller MIG-svetsning.

Kontrollera med Avesta - Två olika uppgifter om svetsoxider:

Pedferri: Svetsoxid behöver inte avlägsnas

Europeiska Korrosionsfederationen, Report nr. 18: Måste avlägsnas

Svetsare bör vara certifierad för svetsning av rostfritt stål, och således ha kunskap om montage-svetsning, val av svetselektrod, rengöring av svetsfogen från svetsoxider etcetera.

Bockning

- Armeringsstänger av stål typ austenitisk och ferrit-austenitiskt rostfritt stål kan bockas på samma sätt som armeringsstänger av kolstål.

Najning av armeringsstänger

- Armering av rostfritt stål ska najas med najningstråd av rostfritt stål (Kontrollera med Avesta!)

Värmeutvidgning

- Austenitiska och ferrit-austenitiska rostfria stål har något högre värmeutvidgningskoefficient än kolstål
- Saknar praktisk betydelse
- Inga skadefall med sprickbildning som följd av värmeutvidgning finns rapporterade

Magnetiska och elektriska egenskaper

Av de två rostfria stålsorterna, som är vanligast förekommande i betong, är austenitiska stål icke-magnetiska och ferrit- austenitiska magnetiska. Ferrit- austenitiska stål har en elektrisk ledningsförmåga, konduktivitet, som är ungefär likvärdig kolståls konduktivitet. Austenitiska stål, däremot, har något sämre konduktivitet.

Kostnader

Rostfria armeringsstänger är betydligt dyrare än armeringsstänger av kolstål. Tillverkare av rostfritt stål på den europeiska kontinenten angav 2004 kostnadsrelationer mellan armeringsstänger av olika stålsorter enligt **tabell X**.

Tabell X. Kostnadsrelation mellan armeringsstänger av olika stålsorter enligt tillverkare av rostfritt stål på den europeiska kontinenten 2004.

Stålsort	Kostnadsrelation
Kolstål	1
Rostfritt stål: EN 1.4201 (SS 2333)	6-8
Rostfritt stål: EN 1.4436 (SS 2353) och EN 1.4462 (SS 2377)	9-10

Det engelska materialinstitutet Institute of Materials angav 1996 något lägre kostnad än de kontinentala ståltillverkarna för rostfri armering jämfört med kostnaden för kolstål. Deras kostnadsrelation mellan armeringsstänger av olika stålsorter visas i **tabell X**.

Tabell X. Kostnadsrelation mellan armeringsstänger av olika stålsorter enligt British Institute of Materials 1996.

Stålsort	Kostnadsrelation
Kolstål	1
Rostfritt stål: EN 1.4201 (SS 2333)	5,5
Rostfritt stål: EN 1.4436 (SS 2353)	7,7

6.2 Varmförzinkat stål

Användningsområden - armeringsstänger
Andra användningsområden för varmförzinkat stål än till armering
Fördelar med varmförzinkad stålarmring
Krav på stålet som ska förzinkas
Lämplig skiktjocklek
Applicering av zinksiktet
Zinksiktets uppbyggnad
Bockning av förzinkade armeringsstänger
Korrosionsegenskaper i betong
Vätgasutveckling vid ingjutningen
Vidhäftning mellan zinkbelagd armering och betongen
Korrosionshårdighet hos zinksiktet
Acceptabel kloridhalt
Förzinkad armering i kombination med obelags armering av kolstål
Leveranskontroll av zinksiktet
Svetsning av förzinkade armeringsstänger
Lagning av skadat zinksikt
Praktiska aspekter vid montering av förzinkade armeringsstänger
Slutkontroll efter montering
Relationshandlingar från färdigmonterad förzinkad armering
Kostnader

Användningsområden

Varmförzinkade armeringsstänger kan användas vid renovering av betongkonstruktioner som har måttligt förhöjd kloridhalt i betongen in till armeringslagret som ska renoveras och i konstruktioner där betongen har blivit karbonatiserad in till armeringslagret. Förzinkad armering kan också användas i preventivt syfte i konstruktioner som man vet kommer att utsättas för kloridinträngning respektive kommer att bli karbonatiserade in till armeringslagret.

Fördelar med varmförzinkad stålarmring

Varmförzinkade armeringsstänger erbjuder en rad fördelar framför armering av vanligt kolstål under samma betongförhållanden:

- längre initieringsperiod innan stålet börjar rosta
- tunnare täcksikt kan användas, vilket medför lägre vikt hos konstruktionen, som i sin tur möjliggör slankare och elegantare formgivning
- i fråga om estetik så blir delvis ingjutet kolstål brunrotigt på delen utanför betongytan – detta sker inte på delvis ingjutet förzinkat stål
- varmförzinkade armeringsstål eller armeringsnät kan också vara värdefulla i förgjutna fasadelement bland annat därför att det inte föreligger någon risk att rinnande rost missfärgar fasaden

Applicering av zinksiktet

- Appliceringsmetod
- Krav på stålsort
- Kiseltätat stål
- Skiktjocklekar

Vätgasutveckling vid betonggjutningen

- När betongen vid gjutning härdar stiger pH-värdet kraftigt och det uppstår vätgasutveckling på zinkytan

- Flera undersökningar har visat att denna pågår endast mycket kort tid, bara några minuter
- Undersökningarna visar också att vätgasutvecklingen inte påverkar vidhäftningen mellan förzinkade stålet och betongen
- Det finns inga skadefall rapporterade från praktisk användning

Zinksiktets uppbyggnad

- Järn/zinklegering innerst mot stålet- järnhalten avtar utåt mot förzinkningsytan
- Brunfärgning på zinkytan betyder (oftast) inte att underliggande stålet korroderar – beror på oxidation av järnet i järn/zinklegeringen

Egenskaper i betong

- Skyddsförmågan beror på att zinken passiveras av det höga pH-värdet
- Bildas ett stabilt passivskikt av zink- karbonat
- Passiveringen är pH-beroende
- Högt halt klorider i betongen kan bryta ned passivskiktet – Underliggande stål börjar korrodera

Vidhäftning mellan zinkbelagd armering – betong

Enligt engelska undersökningar (Thomas, 1989) är den genomsnittliga vidhäftningen för släta armeringsstål i betong såsom i **tabell X**.

Tabell X. Vidhäftning till betong för släta armeringsstål

Typ av stål	Vidhäftning till betong
Varmförzinkat stål	3,3 – 3,6 MPa
Obelagt kolstål	1,3 – 4,8 MPa

Den stora spridningen hos obelagt kolstål hänger samman med olika grader av rost på stålytan, mängd och sammansättning hos glödskalet på stålytan med mera.

Enligt finska undersökningar (Thomas, 1989) är spänningen för 0,1 mm glidning hos kamstål i betong ungefär såsom i **tabell X**.

Tabell X. Ungefärlig spänning för 0,1 mm glidning hos olika typer av kamstål i betong

Typ av kamstål	Spänning
Obelagt kolstål	150 MPa
Varmförzinkat stål	160 MPa
Varmförzinkat och kromaterat stål	190 MPa

I sammanfattning är alltså vidhäftning till betongen och motståndet mot glidning i betongen i stora drag lika för varmförzinkad stålarmring och armering av obelagd kolstålsarmring.

Korrosionshårdighet

- Korrosionshårdigheten beror av passiveringen av zinkytan

- Acceptabel kloridhalt i icke- karbonatiserad betong:
- Acceptabel kloridhalt i karbonatiserad betong:
- Gropfrätning på stålet i kloridhaltig betong – visst katodiskt skydd från omgivande intakt zinkskikt – Dålig katod - Verkan avtar dock med tiden vartefter större zinkytter fräts bort

Kontroll av zinkskiktet

- Kontrollmätning med skiktjockleksmätare

Kostnad

Standarder

6.3 Epoxibelagt stål

Användningsområden – armeringsstänger

Andra användningsområden för epoxibelagt stål än till armering

Applicering av epoxiskiktet

Skyddsprincipen

Hantering av epoxibelagda armeringsstänger

Bockning av epoxibelagda armeringsstänger

Leveranskontroll av epoxiskiktet

Okulär kontroll

Kontroll med högspänningsporsökare

Lagning av skadat epoxiskikt

Reparationsmaterial

Tillvägagångssätt

Upprepad kontroll av reparerade skador

Praktiska aspekter vid montering av epoxibelagda armeringsstänger

Slutkontroll efter montering

Relationshandlingar från färdigmonterad epoxibelagd armering

Praktiska erfarenheter

Kostnader

7. KATODISKT KORROSIONSSKYDD

Användningsområden

Fördelar med katodiskt skydd

Skyddsprincipen

Katodiskt skydd med offeranoder

Katodiskt skydd med påtryckt ström

Inverkan på betongen från katodiskt skydd

Jonvandring

Syrabildning vid anoden

Gasutveckling

Alkalikiselsyrareaktioner i betongen

Utrustning för katodiskt skydd i betong

Typer av offeranoder

Typer av strömmatade anoder

Strömkablar

Mätledningar

Ingjutna mätelektroder

Typer av strömutmatningsenheter

Leveranskontroll av utrustning

Installation av katodiskt skydd

Elektrisk kontinuitet hos armeringen

Mätning av elektrisk kontinuitet

Offeranoder

Offeranoder för skydd av betongkonstruktioner ovan vatten/jord

Offeranoder för skydd av betongkonstruktioner under vatten/jord

Montering av offeranoder

Strömmatade anoder

Strömmatade anoder för skydd av betongkonstruktioner ovan vatten/jord

Strömmatade anoder för skydd av betongkonstruktioner under vatten/jord

Montering av strömmatade anoder

Dragning av strömkablar och mätledningar

Montering av strömutmatningsenheter

Installationskontroll

Funktionskontroll

Relationshandlingar från färdiginstallerat katodiskt skydd

Återkommande kontrollmätningar av katodiskt skydd

Felsökning

Praktiska erfarenheter

Kostnader

8. EXEMPEL PÅ BETONGKONSTRUKTIONER SOM SKYDDAS MED KATODISKT SKYDD

Texten ännu ej klar

I Sverige finns för närvarande (år 2009) totalt tio större betongkonstruktioner som är eller har varit korrosionsskyddade med katodiskt skydd och där installationernas tekniska utformning är känd. För en översikt, se **tabell 1**. Här beskrivs i sammanfattning bakgrunden till varje enskild skyddsinstallation, skyddets utformning, hur väl skydden fungerar samt kostnaden för installationen.

Tabell 1. Kännetecken hos svenska installationer med katodiskt skydd av stål i betongkonstruktioner.

Objekt	Miljö	Anodsystem och referenselektroder	Typ av likriktare	Driftstart	Bedömd skyddsfunktion

Ölandsbron – Fyra låga pelare

Ölandsbron – Kantbalkarna

Smögenbron – Höga pelare

Parkeringshus i Göteborg

Betongkaj i Stenungssund

Betongkaj i Oxelösund

Vattentorn på Ekerö, Stockholm

Räckesstolpar på betongbroar

Kylvattenvägar i Barsebäck kärnkraftverk

Kylvattenvägar i Forsmark kärnkraftverk

9. ANDRA ELEKTROKEMISKA SKYDDSMETODER

Texten ännu ej klar

Realkalisering

Användningsområden

Metodens funktion

Metodens påverkan på betongen

Förutsättningar för metodens användning

Provtagning för analys av betongens pH-värde

Instrumentering

Beräkning av armeringens totala stålyta

Kontroll av elektrisk kontinuitet hos armeringen

Alkalisk elektrolytlösning

Anodtyp

Strömkablar

Elektrisk utrustning för strömutmatning

Montering av anoden och strömkablar

Kontroll innan strömutmatning

Start av strömutmatning och injustering av utmatad ström

Återkommande kontroll av strömutmatning

Övervakning av alkaliseringsprocessen

Avslutning av alkaliseringsprocessen

Relationshandlingar från avslutad alkaliseringsprocess

Praktiska erfarenheter

Kostnader

Kloridutdrivning

Användningsområden

Metodens funktion

Metodens påverkan på betongen

Förutsättningar för metodens användning

Provtagning för analys av betongens kloridhalt

Instrumentering

Kontroll av elektrisk kontinuitet hos armeringen

Beräkning av armeringens totala stålyta

Anodtyp

Strömkablar

Elektrisk utrustning för strömutmatning

Montering av anoden och strömkablar

Kontroll innan strömutmatning

Start av strömutmatning och injustering av utmatad ström

Återkommande kontroll av strömutmatning

Övervakning av alkaliseringsprocessen

Avslutning av processen

Relationshandlingar från avslutad kloridutdrivning

Praktiska erfarenheter

Kostnader

10. LITTERATUR

▪ Referenser

Texten ännu ej klar

Bertolini, L & Bolzoni, F & Pastore, T & Pedferri, P: Behaviour of stainless steel simulated concrete pore solution. British Corrosion Journal, Vol. 31, p. 218-222. 1996.

British Concrete Society: Guidance on the use of stainless steel reinforcement. Technical Report Nr. 51. London, 1998.

Camitz, G: Bestämning av jordars resistivitet. KI Bulletin nr. 88. Korrosionsinstitutet, Stockholm, 1980. (Anm: Anvisningen behandlar främst resistivitetsmätning i jord och vatten, men den kan också tillämpas för mätning av resistivitet i betong).

Camitz, G: Katodiskt korrosionsskydd av stålarmring i betongkonstruktioner. Bulletin nr. 103. Korrosionsinstitutet. Stockholm 1991.

Mietz, J: Electrochemical Rehabilitation Methods for Reinforced Concrete Structures – State of the Art Report. European Federation of Corrosion Publications Number 24. Utgiven av British Institute of Materials. London, 1998.

Nürnberg, U: Stainless steel in concrete – State of the Art Report. European Federation of Corrosion Publications Number 18. Utgiven av British Institute of Materials. London, 1996.

Outokumpu Stainless AB: Corrosion Handbook, Kapitel I:96, Stainless Steel as Reinforcement in Concrete Constructions. Avesta Research Centre. Avesta, 2009.

Scully, M.P. & Hurley, J.R: Threshold Chloride Concentrations of Selected Corrosion-Resistant Rebar Materials Compared to Carbon Steel. Journal of Corrosion, Vol. 10, p. 892-904. 2006.

Sederholm, B: Katodiskt korrosionsskydd av stålarmeringen i olika typer av betongkonstruktioner. KI Rapport 1997:4. Korrosionsinstitutet, Stockholm 1997.

Sederholm, B & Almqvist, J: Rostfri stålarmring i betongkonstruktioner. Bygg&Teknik, nr.7- 2009. Stockholm 2009.

Thomas, R: Varmförzinkning. (Red. T. Wallin) Nordisk Förzinkningsförening. Stockholm, 1989.

Wiik, C: Nu rustas Ölandsbron för 10-talet - med katodiskt skydd. Bygg&Teknik, nr.5- 2009. Stockholm 2009.

Vinka, T-G & Becker, M: Korrosion på förzinkat stål i betong. Bygg&Teknik, nr.7-1999. Stockholm 1999.

Vinka, T-G: Korrosion på förzinkat stål och kolstål i karbonatiserad och kloridhaltig betong. Nordisk Korrosion nr. 3 – 2002. Korrosionsinstitutet. Stockholm 2002.

■ Standarder och vägledningar

Följande svenska och internationella standarder och vägledningar behandlar olika aspekter av korrosion och korrosionsskydd av stål i betong:

Utformning av stålarmerade betongkonstruktioner med avseende på korrosion:

- Amerikansk standard: NACE Standard Practice SP 0187-2008. ***Design Considerations for Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete***. NACE International, Houston Texas, 2008. (NACE: American National Association of Corrosion Engineers, 1440 South Creek Drive, Houston Texas, TX 77084-4906, USA).

Underhåll och reparation av befintliga betongkonstruktioner:

- Amerikansk standard: NACE Standard Practice SP 0390-2006. ***Maintenance and Rehabilitation Considerations for Corrosion Control of Atmospherically Exposed Existing Steel-Reinforced Concrete Structures***. NACE International, Houston Texas, 2006. (NACE: American National Association of Corrosion Engineers, 1440 South Creek Drive, Houston Texas, TX 77084-4906, USA).

Katodiskt skydd av stål i betongkonstruktioner:

- Svensk standard SS-EN 12696: ***Katodiskt skydd av stål i betong – Del 1: Konstruktioner i atmosfär***. SIS, Stockholm, år 2000.
- European Technical Specification: EN/TS, ***Cathodic protection of steel in concrete – Part 2: Buried and submerged structures***. European Center for Standardization, CEN. Bussels. (Under bearbetning vid CEN/TC 262/SC2/WG2)
- Amerikansk standard: NACE Standard Practice SP 0290-2007. ***Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures***. NACE International, Houston Texas, 2007. (NACE: American National Association of Corrosion Engineers, 1440 South Creek Drive, Houston Texas, TX 77084-4906, USA).

Elektrokemisk re-alkalisering och kloridutdrivning:

- Svensk Teknisk Specifikation: EN/TS 14038- 1, ***Elektrokemisk re-alkalisering och kloridutdrivning för stålarmerad betong – Del 1: Re-alkalisering av karbonatiserad betong***. European Center for Standardization, CEN. Bussels, 2000.
- European Technical Specification: EN/TS 14038- 2, ***Electrochemical re-alkalization and chloride extraction treatments for reinforced concrete – Part 2: Chloride extraction***. European Center for Standardization, CEN. Bussels, 2009.

- Amerikansk standard: NACE Standard Practice SP 0107-2007. ***Electrochemical Realcalization and Chloride Extraction for Reinforced Concrete***. NACE International, Houston Texas, 2007. (NACE: American National Association of Corrosion Engineers, 1440 South Creek Drive, Houston Texas, TX 77084-4906, USA).

Epoxibelagt armeringsstål:

- Amerikansk standard: NACE Standard Recommended Practice RP 0395-1999. ***Fusion-Bonded Epoxy Coating for Steel Reinforcing Bars***. NACE International, Houston Texas, 1999. (NACE: American National Association of Corrosion Engineers, 1440 South Creek Drive, Houston Texas, TX 77084-4906, USA).

Mätning av resistivitet i olika medier:

- Camitz, G: ***Bestämning av jordars resistivitet***. KI Bulletin nr. 88. Korrosionsinstitutet, Stockholm, 1980. (Anm: Anvisningen behandlar främst resistivitetsmätning i jord och vatten, men den kan också tillämpas för mätning av resistivitet i betong).

■ Handböcker

Följande handböcker innehåller en gedigen framställning av korrosion på stål i betong, metoder för undersökning av det ingjutna stålets korrosionstillstånd och metoder som kan tillämpas som skydd mot korrosionsskador:

- Bertolini, L & Elsener, B & Pediferri, P & Polder, R: ***Corrosion of Steel in Concrete – Prevention, Diagnosis and Repair***. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. DE- 694 69 Weinheim, Tyskland, 2004,
- Lazzari, L & Pediferri, P: ***Cathodic Protection***. Polipress 2006 – Politecnico di Milano. Piazza Leonardo da Vinci, 32. IT- 201 33 MILANO, Italien.
- von Baeckmann, W & Schwenk, W: ***Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutz – Kapitel 19, Kathodischen Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl in Betonbauten***. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. DE- 694 69 Weinheim, Tyskland, 2004
- ***Corrosion Handbook – Stainless steels***. Temth Edition, 2009. Handbok utgiven av Outokumpo Stainless Steel. Espoo, Finland, 2009.

11. ORDFÖRKLARINGAR

Texten ännu ej klar

1.	Aerob miljö:	Miljö innehållande syre
2.	Aktiv/passivcell	Ett specialfall av galvanisk korrosionscell, där en del av det korroderande stålet befinner sig i ett medium med hög alkalitet (högt pH-värde) och en annan del i ett medium med lågt eller någorlunda neutralt pH-värde (omkring pH 7). <i>Den vanligast förekommande aktiv/passivcellen uppkommer på stål, exempelvis en armeringsstång, som är delvis ingjutet i alkalisk betong och delvis beläget i jord eller vatten utanför betongen. Stålet i betongen är passiverat och har förhållandevis ädel potential och blir katod i cellen medan stålet utanför betongen har "normal" (mera negativ) potential och blir anod. Som följd av potentialskillnaden flyter en korrosionsström från stålet utanför betongen, genom jorden/vattnet till stålet i betongen, varvid stålet utanför betongen korroderar. Verkan i en aktiv/passiv-cell är som i andra korrosionsceller beroende av syretransporten fram till katodytan inne i betongen och av resistansen i betongen/jorden/vattnet.</i>
3.	Allmän korrosion:	Korrosion som förlöper ungefär med samma hastighet på hela korroderande ytan <i>Allmän korrosion kallas även jämn korrosion.</i>
4.	Anaerob miljö:	Syrefri miljö <i>Vattenmättad finkornig jord, exempelvis lera, är vanligen anaerob.</i>
5.	Anaerob korrosion:	Korrosion som sker i syrefri miljö, varvid den katodiska elektroreaktionen vanligen utgörs av reduktion av vätejoner <i>Se även mikrobiell korrosion</i>
6.	Anod (i allmänhet inom korrosionsläran):	Den del av metallytan i en korrosionscell som oxideras, dvs. angrips genom korrosion <i>Jfr. katod</i>
7.	Anod (i samband med katodiskt skydd):	Elektrisk ledare av metall, metalloxid eller grafit, placerad i elektrolyten, genom vilken skyddsström matas till metallytan (katoden) som skall skyddas katodiskt <i>Vid elektrolytiskt katodiskt skydd, dvs. skydd med påtryckt ström, är anoden strömmatad och vanligen av ett i det närmaste inert material. Se vidare strömmatad anod.</i> <i>Vid galvaniskt katodiskt skydd är anoden en offeranod som vid katodiskt skydd av stål i jord och vatten består av zink eller magnesium.</i>
8.	Anodisk polarisation:	<i>Se polarisation</i>
9.	Anodisk ström:	Ström som flyter från metallytan ut i elektrolyten
10.	Anodkabel:	Anslutningskabel mellan likriktares pluspol och strömmatad anod eller anslutningskabel mellan offeranod och skyddsobjektet <i>Kabelhöljet ska, enligt svenska allmänna anvisningar, vara rött för att inte kunna förväxlas med katodkabel.</i>
11.	Bimetallkorrosion:	<i>Se galvanisk korrosion</i>
12.	Bygling:	Elledande koppling med kabel mellan t ex. två eller flera armeringssektioner, som inte är i elektriskt ledande kontakt med varandra

	<i>I en bygling kan shuntmätning av mantelström resp. rörström ske</i>
13. Depolarisation:	Minskning av <i>polarisation</i> <i>Anodisk depolarisation sker, t ex som följd av avbruten anodisk ström, dvs. avbrutet strömflöde ut ur stålytan.</i> <i>Katodisk depolarisation sker, t ex som följd av avbruten katodisk ström, dvs. avbrutet strömflöde till stålytan.</i>
14. Diskreta anoder:	
15. Egenpotential (hos anod):	En <i>offeranods</i> eller <i>strömmataad anods vilopotential</i> , det vill säga anodens potential när den inte är ansluten till skyddsobjektet
16. Elektrisk kontinuitet:	Obruten elektrisk (metallisk) ledningsförmåga <i>Elektrisk kontinuitet kan föreligga t ex. mellan olika delar av stålarmeringen.</i>
17. Elektrisk separering:	Brytning av <i>elektrisk kontinuitet</i> , t ex. mellan två sektioner av armeringen eller mellan armeringen och en främmande metallisk konstruktionsdel.
18. Elektrod:	Metall eller annan elektronledare i kontakt med en <i>elektrolyt</i> och genom vilken elektrisk ström kan gå in i eller lämna elektrolyten <i>Annan elektronledare än metall är t.ex. grafit.</i>
19. Elektropotential:	Elektrisk potentialskillnad mellan <i>elektrod</i> , t ex. metallkonstruktion, och omgivande <i>elektrolyt</i> exempelvis betong <i>Elektropotentialen mäts mot en referenselektrod placerad i elektrolyten.</i>
20. Elektrokemiskt korrosionsskydd:	Sätt att motverka en metalls korrosion i en elektrolyt genom reglering av metallens elektropotential till ett lämpligt värde <i>Det finns två typer av elektrokemiskt skydd: katodiskt skydd och anodiskt skydd. I betong används endast katodiskt skydd.</i>
21. Elektrokemisk potential:	Samma som <i>elektropotential</i>
22. Elektrolyt:	Medium som kan leda ström genom jontransport, t ex vatten, fuktig jord och fuktig betong
23. Elektrolytisk jordningscell:	Samma som <i>polarisationscell</i>
24. Elektrolytisk korrosion:	Korrosion orsakad av att elektrisk ström, härrörande från en främmande strömkälla, lämnar metallytan och går ut i omgivande <i>elektrolyt</i>
25. Elektrolytisk korrosionscell:	Korrosionscell, som fordrar elektrisk ström från en yttre strömkälla för att uppstå och vara verksam <i>I en elektrolytisk korrosionscell är anod- och katodytorna ofta belägna på ett något större avstånd från varandra. Motsatsen till elektrolytisk korrosionscell är galvanisk korrosionscell.</i>
26. Elektrolytiskt katodiskt skydd:	Se <i>katodiskt skydd</i>
27. Elförzinkning:	Se <i>förzinkning</i>
28. ER- sond:	
29. EX-klassat område:	Explosionsfarligt område som är riskklassificerat

30. Explosionsfarligt område:	Avgränsat område med explosiv gasblandning <i>Katodiskt skydd av metallkonstruktioner i sådant område eller montering av utrustning för katodiskt skydd i området ställer särskilda krav på utformningen från elektrisk säkerhetssynpunkt. Farligheten delas in i olika klasser. Se vidare SS 421 08 19, SS 421 08 20, SS 421 08 21 och SS 421 08 22. Explosionsfarligt område är vanligen inhägnat.</i>
31. Faradays lag:	Fysikalisk lag som, förenklat uttryckt, anger hur många gram av en specifik metall som löses upp (korroderar) vid en viss anodisk likströmström och vid en viss påverkanstid, det vill säga hur lång tid strömmen får flyta ut ur metallytan <i>Med hjälp av Faradays lag kan korrosionshastigheten beräknas. Faradays lag kan tillämpas för uppskattning av förbrukningshastigheten hos en offeranod, varvid anodupplösningshastigheten, beräknad enligt lagen, adderas till hastigheten för anodens egenkorrosion. Faradays lag kan även tillämpas i samband med läckströmskorrosion, på så sätt att känner man storleken på den utläckande strömmen och påverkanstiden så kan storleken på den korrosion som läckströmmen ger upphov till beräknas.</i> <i>Lagen formulerades i början av 1800- talet av den engelske fysikern och kemisten Michael Faraday. Faraday adlades sedermera för sina vetenskapliga insatser.</i>
32. Felställe (i skyddsbeläggning):	Hål i skyddsbeläggning där stålet är frilagt mot omgivningen <i>Vanligen menas felställe i plastbeläggning. Felstället kan vara en por från appliceringen av plastskiktet eller en mekanisk skada som uppstått under lagring eller transport av stålstycket.</i>
33. Fjärranod:	Anod installerad på större avstånd från skyddsobjektet <i>Avsikten med fjärranod är framför allt att undvika att spänningsgradienterna i jorden/vattnet kring anoden omsluter skyddsobjektet i syfte att erhålla jämn strömspridning på objektet</i>
34. Fjärrövervakning (av katodiskt skydd):	Central och kontinuerlig distansbevakning av funktionen hos katodiskt skydd <i>Anläggning för fjärrövervakning av katodiskt skydd i betong kan bestå av en eller flera referenselektroder ingjutna intill t ex. stålarmeringen. Varje referenselektrod är ansluten till en datalogger placerad i ett skåp utanför betongkonstruktionen. Dataloggern sänder, t ex. via mobilnätet, kontinuerligt eller på begäran värden på armeringens katodiska skyddspotential till en övervakningscentral.</i>
35. Fri korrosionspotential:	Samma som vilopotential.
36. Främmande konstruktion:	Metallisk konstruktion i närheten av skyddsobjektet, men som inte ingår i det katodiska skyddet
37. Frånslagspotential:	Skyddspotential som är uppmätt en bråkdel av en sekund efter brytning av skyddsströmmen, men omedelbart innan den katodiska depolarisationen inleds <i>Syftet med brytning av skyddsströmmen är att undvika inmätning av IR- fallet i elektrolyten. Uttrycket kommer av att potentialen mäts i frånslagsögonblicket. (eng. Instantaneous OFF- potential).</i> <i>Se även tillslagspotential.</i>
38. Fullständigt katodiskt skydd:	Katodiskt skydd som råder vid föreskriven skyddspotential <i>Vid fullständigt katodiskt skydd är korrosionshastigheten i praktiken försumbar.</i>
39. Förzinkning:	Ytbeläggning av stål med zink <i>Förzinkning kan utföras genom doppning av stålstycket i smält zink (varmdoppning/varmförzinkning), sprutning av stålstycket med smält zink (sprutförzinkning) eller genom nedsänkning av stålstycket i ett elektrolysbad (el-förzinkning). Endast varmförzinkning ger långvarigt skydd av stål i betong genom att man med denna metod kan uppnå tillräckligt tjockt zinkskikt.</i>
40. Galvanisk anod:	Samma som offeranod
41. Galvanisk cell (typ)	Speciell typ av galvanisk korrosionscell, där anoden och katoden utgörs av två olika metaller.

bimetallcell):	<i>Katoden utgörs av en ädel metall (rostfritt stål, koppar, silver etc) och anoden av en oädel metall (zink, aluminium, järn, kolstål, bly, tenn etc). Anoden och katoden är nedförda i en och samma elektrolyt. I den galvaniska cellen är anoden och katoden i metalliskt ledande förbindelse med varandra, antingen genom direktkontakt eller via en metalltråd eller annan ledare. Katoden har mera positiv potential än anoden, och potentialskillnaden (galvaniska spänningen) dem emellan gör att det flyter en galvanisk ström genom elektrolyten från anoden till katoden.</i> Ett ficklampsbatteri är en galvanisk cell.
42. Galvanisk korrosion:	Korrosion på en metall förorsakad av metalledande kontakt med en annan, ädlare metall <i>Ett exempel är korrosion på stål eller gjutjärn i kontakt med koppar, där stålet blir anod och korroderar medan kopparn blir katod och därigenom skyddad mot korrosion. I praktiken kan det t ex. vara fråga om stålarmering som är i (avsiktlig eller oavsiktlig) kontakt med ett kopparjordtag som angränsar till betongkonstruktionen. Ett specialfall är där räckesstolpar nedtill i betongen är i anliggningskontakt med stålarmeringen i en kantbalk. Stålarmeringen har ädel potential medan stolparna strax ovanför betongytan har oädel potential. När det står regnvatten eller smält snö på balken rostar stolparna i övergångszonen betong/luft.</i> <i>Vid katodiskt skydd med offeranod utsätts den oädlare offeranoden oundvikligen för galvanisk korrosion, som en följd av sammankopplingen med den mera ädla stålkonstruktionen som skyddas. Galvanisk korrosion försiggår i en galvanisk cell typ bimetallcell.</i>
43. Galvanisk korrosionscell:	Korrosionscell som kan avge elektrisk ström <i>Galvanisk korrosion sker i en galvanisk korrosionscell. I en galvanisk korrosionscell kan anod och katod antingen vara av samma metall eller av olika metaller.</i> <i>Motsatsen till galvanisk korrosionscell är elektrolytisk korrosionscell.</i>
44. Galvanisk serie:	En serie där metaller (eg. elektroder) är ordnade efter deras elektrodpotential <i>Metaller med högst (= mest positiv = mest ädel) potential ligger högst i serien, och metaller med lägst (= mest negativ = mest oädel) potential ligger lägst. Exempel på ädla metaller är platina, guld och silver. Exempel på oädla metaller är magnesium, zink, aluminium och järn.</i>
45. Galvanisk ström:	Den ström som flyter mellan anoden och katoden i en galvanisk cell
46. Galvaniskt katodiskt skydd:	Samma som katodiskt skydd med <i>offeranod</i>
47. Glättning (av likström):	Minskning av rippel hos likström, dvs. utjämning av likström som inte är helt slät som följd av likriktning i likriktarbrygga ansluten till transformator <i>Graden av rippelminskning kallas rippelfaktor</i>
48. Gropfrätning:	lokal korrosion som leder till angrepp med ringa utbredning men ofta med betydande djup <i>Gropfrätning (punktfrätning) på rostfritt stål karakteriseras av att angreppet har stort djup men mycket liten utbredning i sidled och av att angreppet är omgivet av oangripet stål. Enstaka gropfrätningar på rostfritt stål har därför vanligtvis ingen betydelse för stålets hållfasthet men är förödande för en rörledning eller cistern om angreppet har gått genom rör-/cisterngodset.</i>
49. Halvcell (inom korrosionsläran):	Elektrod för mätning av elektrodpotential, bestående av en metallstav neddoppad i en lösning av sitt eget metallsalt En <i>referenselektrod</i> är en halvcell.
50. Höglegerat stål:	Stål med sammanlagd halt av legeringsämnen, kol undantaget, större än 5 vikt-%. <i>I många fall, men inte alltid, är höglegerat stål liktydigt med rostfritt stål.</i>
51. Högspänningsporsökare:	Instrument för kontroll av förekomst av små och knappt synbara skador (felställena, porer) i organisk skyddsbeläggning

	<i>En hög växelspanning med hög frekvens alstras från en bärbar strömkälla mellan en elektrod och stålobjektet som ska kontrolleras. Elektroden hålls mot och förs över beläggningen. Vid påträffad por i pöastbeläggningen ger instrumentet signal. För porsökning på epoxibelagda armeringsstänger har elektroden formen av en borste som förs över armeringsstången eller en spiralfjäder som slås kring stången.</i>
52. IR-fall (vid mätning av katodisk skydds-potential):	Spänningsfall i elektrolyten (betongen, jorden, vattnet etc), som uppstår till följd av det katodiska skyddsströmflödet, och som avspeglas som ett "mätfel" i det uppmätta potentialvärdet <i>IR-fallet ingår i skyddsföremålets potential när denna mäts med det katodiska skyddet inkopplat och ger upphov till ett "mätfel" som innebär att skyddspotentialen blir "förfalskad". Vid mätningen ingår IR-fallet i potentialen på så sätt att den registrerade skyddspotentialen blir skenbart mera negativ ("bättre") än vad den egentligen är på själva skyddsobjektet (stålarmeringen etc.). Mätningen visar därför inte skyddsföremålets sanna potential. Uttrycket kommer av I för ström och R för resistans.</i> <i>Även annan ström än skyddsströmmen kan ge upphov till IR-fall i marken, t ex läckström från lik-strömsanläggning och galvanisk ström.</i>
53. Jordmegger:	4- poligt växelströmsinstrument för mätning av hög resistans och resistivitet hos en elektrolyt, t ex. betong <i>För metodbeskrivning och mätanvisningar, se Korrosionsinstitutets Bulletin nr 88.</i>
54. Jämn korrosion:	samma som <i>Allmän korrosion</i>
55. Kantbalk:	
56. Katod (i allmänhet inom korrosionsläran):	Den del av metallytan i en <i>korrosionscell</i> där ett ämne (vanligen syre eller väte) reduceras på elektrokemisk väg, vilket underhåller oxidationen (korrosionen) på anoden
57. Katod (vid katodiskt skydd):	Skyddsobjektet (i elektrokemisk bemärkelse) vid katodiskt skydd
58. Katodisk blåsbildning:	Uppkomst av vattenfyllda blåsor i organisk, icke helt tät, beläggning som följd av katodiskt skydd <i>Katodisk blåsbildning orsakas av att vatten och positivt laddade joner tränger igenom beläggningen orsakat av elektro- osmos, som i sin tur beror på det katodiska skyddsströmsflödet till stålytan.</i> <i>Denna typ av blåsbildning känns igen på att vattnet i blåsorna är alkaliskt som följd av den katodiska reaktionen på stålytan under färdblåsan. Fenomenet är ovanligt men kan uppkomma framför allt vid katodiskt överskydd i kombination med icke helt elektriskt isolerande beläggning. Blåsbildningen uppkommer inte i tjocka och välisolerande beläggningar, såsom PE- och PP-beläggningar, men kan uppkomma i tunnare icke helt isolerande beläggningar, t ex. epoxi- och polyuretanbeläggningar.</i>
59. Katodisk disbonding:	Uttrycket bör ej användas. Använd istället <i>katodisk vidhäftningsförlust</i>
60. Katodisk polarisation	Förskjutning av elektrodpotentialen i negativ, katodisk, riktning som följd av att en <i>katodisk ström</i> flyter <i>Jfr. depolarisation</i>
61. Katodisk ström:	Ström som flyter från <i>elektrolyten</i> in i metallytan
62. Katodisk vidhäftningsförlust:	Upphävande av en organisk skyddsbeläggningens vidhäftning till stålytan runt om en beläggningsskada. <i>Vidhäftningsförlusten uppkommer på grund av den starka alkalibildningen, "förtvålningen", på stålytan vid katodiskt skydd som en följd av hydroxidningen på stålytan. Fenomenet kan uppträda framför allt vid katodiskt överskydd. Skyddsbeläggningars benägenhet att utsättas för katodisk vidhäftningsförlust kan provas enligt EN- standard för respektive skyddsbeläggning.</i>

63. Katodiskt skydd:	Elektrokemiskt korrosionsskydd, som innebär att metallens elektrodpotential sänks från korrosionspotentialen till ett värde, skyddspotentialen, där korrosionen är praktiskt försumbar <i>Potentialsänkningen sker genom matning av likström från anoden, genom elektrolyten till metallanoden. Skydd med påtryckt ström, elektrolytiskt skydd, innebär att strömmen matas från en strömmatningsenhet. Skydd med offeranod, galvaniskt skydd, innebär att strömmen alstras på galvanisk väg.</i>
64. Katodiskt överskydd:	Katodiskt skydd med överdrivet stark skyddsströmtäthet, vilket medför överdrivet negativ skyddspotential <i>Katodiskt överskydd kan leda till oönskade fenomen såsom vätegasutveckling på stålytan med åtföljande risk för väteförspridning, katodisk vidhäftningsförlust samt katodisk blåbildning.</i>
65. Katodkabel:	Kabel som ansluter strömmatningsenhetens minuspol till skyddsobjektet <i>Kabelhöljet ska vara svart för att inte kunna förväxlas med anodkabel, som ska vara röd.</i>
66. Kolstål (olegerat stål):	Stål med kol som väsentlig beståndsdel vid sidan om järn <i>Kolhalten är lägre än ca 1,3 %. Gränsen mellan kolstål och legerade stål är oskarp.</i>
67. Konstruktionsstål:	Stål som är avsedda för t ex. bärande konstruktioner, exempelvis stålplåtar, stålsponter och balkar <i>Stålet i armeringsstål tillhör gruppen allmänna konstruktionsstål. Kolhalten ligger vanligtvis mellan 0,1 och 0,6 vikt- %. Vanliga legeringsämnen är mangan och kisel. Det finns även höglegerade konstruktionsstål, både rostfria och icke rostfria. Viktiga egenskaper vid val mellan olika konstruktionsstål för ett särskilt ändamål är svetsegenskaper och mekanisk hållfasthet.</i>
68. Korrosionscell:	En typ av elektrokemisk cell på en metall, bestående av en anodyta, en katodyta och en elektrolyt <i>På anodytan sker oxidation, dvs. upplösning av metallen, och på katodytan reduceras ett ämne, vanligen syre som förekommer löst i elektrolyten. Anodytan har (i en galvanisk korrosionscell) mera negativ potential än katodytan. Som en följd av skillnad i potential mellan ytorna flyter positiv ström, korrosionsströmmen, genom elektrolyten från anodytan till katodytan.</i>
69. Korrosionshastighet:	Hastighet varmed en metall korroderar <i>Uttrycks vanligen som viktsminskning per area och tid ($\text{g/m}^2 \cdot \text{år}$) eller som frätdjup alternativt dimensionsminskning per tid (mm/år eller $\mu\text{m/år}$). $1 \text{ mm} = 1\,000 \mu\text{m}$.</i>
70. Korrosionspotential:	Elektrodpotentialen hos en fritt korroderande metallanoden <i>Korrosionspotentialen kan antingen vara en vilopotential eller en potential som har förskjutits i positiv eller negativ riktning, "polariserad potential", till följd av att främmande likström, t ex läckström, flyter ut ur respektive in i stålytan.</i>
71. Korrosionsprodukt:	Reaktionsprodukt som följd av korrosion, i vilken den korroderande metallen ingår i oxiderad form <i>På stål i betong består korrosionsprodukten (rosten) vanligen av järn- syreföreningar med olika modifiering, exempelvis FeOOH ("rödrost") och Fe_3O_4 ("svartrost").</i>
72. Korrosionsström:	Se korrosionscell
73. Krönbalk:	
74. Likriktare:	Elektrotekniskt don för omvandling av växelström till likström <i>En likriktare består av fyra dioder, vanligtvis kisel-dioder, kopplade till varandra på ett särskilt sätt i en diodbrygga. En transformators sekundära växelspanning likriktas i diodbryggan till en någorlunda slät likström. Se vidare rippel.</i>
75. Likriktarenhet (för katodiskt	Nätansluten elektrisk enhet som matar skyddsström

skydd)	Enheten består i huvudsak av en transformator som transformerar ned nätspänningen till skyddsspänning, normalt lägre än 10 V, och en likriktare som omvandlar växelströmmen till likström. Vanligen sitter också ett elektroniskt glättningsdon i enheten, vilket minskar likströmmens rippel. Enheten kan arbeta på tre olika sätt: med fast utgående skyddsspänning och variabel skyddsström (spänningsstyv likriktare), med variabel skyddsspänning och fast skyddsström (strömstyv likriktare) eller med variabel skyddsström och fast potential (potentialstyrd likriktare). Vid skydd av jordförlagda konstruktioner används vanligen strömstyv likriktare.
76. Lokal korrosion:	Korrosion som förlöper med särskilt stor hastighet på begränsade delar av den korroderande metallytan Jfr allmän korrosion och gropfrätning.
77. Luftningscell:	En typ av korrosionscell som uppstår på grund av att syrehalten är olika på olika partier av metallytan Partier med god tillgång på syre blir katod och syrefattiga partier blir anod. En luftningscell kan uppstå t ex. på stålarmeringen i en bropelare. Betongen under vattenytan är syrefattig och där utbildas anodiska partier på armeringen, som korroderar. Ett praktiskt exempel är korrosionsskadorna på stålarmeringen i Ölandsbrons pelare under vattenytan. Luftningscellen påminner om aktiv-passivcellen.
78. Låglegerat stål:	Legerade stål med sammanlagd halt av legeringsämnen (kol undantaget) mindre än 5 vikts-%.
79. Läckström:	Ström som på resistiv väg flyter annan väg än den avsedda genom en elektrolyt (jord, vatten, betong etc.) och som härrör från en elektrisk anläggning med någon ledare i kontakt med elektrolyten Läckström från en likströmsanläggning kan ge upphov till läckströmskorrosion. Läckström från en växelströmsanläggning kan ge upphov till växelströmskorrosion.
80. Läckströmskorrosion:	Elektrolytisk korrosion orsakad av läckströmmar i marken från elektrisk likströmsanläggning med någon del i kontakt med jord. Exempel på anläggning som kan ge upphov till sådan läckström är likströmsdriven spårväg och tunnelbana, likströmsdriven pappersmaskin i pappersbruk, anläggning för överföring av högspänd likström (HVDC) samt likriktare för likströmssvetsning respektive för matning av katodiskt skydd med påtryckt ström. Under mycket speciella förhållanden kan även läckström från en växelströmskälla ge upphov till elektrolytisk korrosion. Denna form av korrosion kallas växelströmskorrosion.
81. Magnetit:	En järn- syreförening med den kemiska beteckningen Fe_3O_4 När stål rostar i tät och blöt betong (syrefattig betong) bildas magnetit som korrosionsprodukt pga. bristande syretillförsel. Korrosionsprodukten magnetit är svart och kallas även "svartrost". Den är magnetisk.
82. Mätkupong:	En stålplatta med liten yta vilken (i betongsammanhang) är ingjuten och ansluten via kabel till skyddsobjektet (armeringen etc.), och som är avsedd för noggrann kontrollmätning av katodisk skyddspotential Mätkupongen gjuts in permanent i betongen intill armeringen etc. för mätning av IR-fri skyddspotential och/eller strömtäthet på stålytan. Stålp Plattans fria stålyta simulerar armeringens stålyta. Lämplig area hos mätkuponger i betong är vanligen 5– 10 cm^2. Potential hos mätkupongen mäts med referenselektroden placerad mot betongytan. IR-fri potential erhålls genom brytning av förbindelsen till armeringen och avläsning av potentialen omedelbart efter brytögonblicket. Strömtäthet i mA/cm^2 fås fram genom mätning av skyddsströmmen i anslutningskabeln varefter värdet på strömmen i mA divideras med kupongens fria stålarea i cm^2. Se även provkupong.
83. Mätställe:	Fast mätanslutning till skyddsobjektet för kontroll av katodiska skyddets funktion

	<i>Mätstället har permanenta och dubblerade mätledningarna från skyddsobjektet till en mätplint. Dubbleringen av mätledningarna är till för att det ska vara möjligt att mättekniskt (genom resistansmätning) kunna kontrollera att anslutningen på skyddsobjektet är intakt.</i>
84. Näranod:	Anod placerad nära skyddsobjektet
85. OFF- potential:	Samma som fränslagspotential
86. Offeranod:	Anod som, när den ansluts till skyddsobjektet, avger katodisk skyddsström på galvanisk väg genom att anodmetallen är mera oädel än skyddsobjektet <i>Vid skydd av stål är offeranoden av aluminium, zink eller magnesium. För katodiskt skydd av stål ingjutet i betong används oftast offeranoder av zink.</i> <i>Offeranoder förbrukas med tiden, dels genom egenkorrosion dels genom upplösning pga. strömväggivningen. Förbrukningshastigheten kan uppskattas genom bedömning av egenkorrosionens storlek samt genom mätning av strömväggivningen och tillämpning av Faradays lag.</i>
87. Ofullständigt katodiskt skydd:	Katodiskt skydd där skyddsobjektets potential har sänkts till viss del men inte har nått ända till föreskriven skyddspotential <i>Ofullständigt katodiskt ger ett visst men inte fullt korrosionsskydd. En tysk laboratorieundersökning visar att en sänkning av objektets potential med 100 mV i havsvatten minskar korrosionshastigheten, i form av jämn korrosion, med en tiopotens.</i>
88. Olegerat stål:	Samma som kolstål
89. ON- potential:	Samma som tillslagspotential
90. pH- värde	Ett mått på en elektrolyts ”surhetsgrad” <i>Vid pH-värden under pH 7 är elektrolyten sur. Vid pH-värden över pH 7 är elektrolyten basisk (alkalisk).</i> <i>Nygjuten betong har mycket högt pH-värde, ca. pH 13, vilket verkar passiverande (skyddande) av ingjutet stål. Vartefter luftens koldioxid tränger in i betongen sjunker dess pH-värde successivt, och betongen förlorar sin passiverande verkan på det ingjutna stålet.</i>
91. Platanod:	En typ av strömmatad anod <i>Platanoden består av en PE- kabel med kopparkärna, som leder den katodiska skyddsströmmen genom kabeln. PE- platen är bemängd med grafitpulver så att platen får en viss elektrisk ledningsförmåga. Den katodiska skyddsströmmen ”läcker ut” genom platen längs med hela anoden och går vidare till skyddsobjektet, t ex. stålarmeringen.</i>
92. Polariserad potential:	Potential som har förskjutits i positiv eller i negativ riktning <i>En polariserad potential är inte längre en vilopotential.</i>
93. Polarisation:	Förskjutning av metallytans elektrodpotential från vilopotentialen i positiv eller negativ riktning <i>Ett flöde av katodisk ström (ström från elektrolyten in i metallytan) medför katodisk polarisation (förskjutning i negativ riktning). Katodisk polarisation verkar skyddande av metallen. Jfr. Katodiskt skydd.</i> <i>Ett flöde av anodisk ström (ström från metallytan ut i elektrolyten) medför anodisk polarisation (förskjutning i positiv riktning). Anodisk polarisation medför oxidation av metallytan, dvs. korrosion.</i>
94. Polarisationsprov:	Samma som provpolarisation
95. Polarisationssond:	Mätelektrod, på vilken IR-fri skyddspotential kan mätas under det att den katodiska skyddsströmmen flyter, det vill säga utan behov av temporär fränslagning av den katodiska skyddsströmmen <i>Sonden består av en stålring (area t ex 5-10 cm²) monterad i änden på en referenselektrod nära intill</i>

	<i>elektrodens membran. När stålringen är ansluten till mätobjektet (stålarmeringen etc.) tar ringen upp lika stor skyddsström och antar samma elektrodpotential som stålytan på mätobjektet. Genom det korta avståndet mellan referenselektrod och stålring innefattar den mätta potentialen inget IR-fall utan utgör i det närmaste sann (IR-fri) skyddspotential.</i>
96. Potentialavklingning:	Elektrodpotentialens förändring med tiden efter det att polariseringen avbrutits genom avbrott i strömmatningen <i>Potentialavklingning används vid mätning av skyddsverkan av katodiskt skydd i betongkonstruktioner i atmosfären (ovan mark och vatten).</i>
97. Potentialgradienter (i betongen):	Samma som <i>Spänningsgradienter (i betongen)</i>
98. Potentialstyrd likriktare:	Likriktare, som med hjälp av en ansluten potentiostat kan hålla skyddsobjektets skyddspotential på ett stabilt, förinställt värde <i>En referenselektrod, permanent placerad intill stålobjektet som ska skyddas, är ansluten till en potentiostat, som i sin tur är ansluten till likriktaren. Potentiostaten registrerar kontinuerligt stålobjektets skyddspotential och ger signal till likriktaren att hela tiden mata ut lämpligt stor skyddsström till objektet. Strömmatningen blir därmed så anpassad att skyddspotentialen hålls på ett förinställt stabilt värde.</i> <i>Potentialstyrd likriktare kan används vid katodiskt skydd där skyddsobjektets potential varierar i tid med t ex. starka variationer i betongens fukthalt och därmed variationer i skyddsströmsbehovet.</i>
99.	<i>Faktakontrollerad hit: 2010-02-15</i>
100. Potentialutjämnning:	Elektrisk förbindning mellan olika metalliska konstruktionsdelar i syfte att, av personsäkerhetsskäl, ge elektriskt utsatta delar och främmande ledande delar samma elektriska potential
101. Provkupong:	Stålplatta med liten yta vilken är nedgrävd och ansluten till skyddsobjektet och som är avsedd för undersökning av korrosionshastighet i samband med kontroll av effektiviteten hos katodiskt skydd. <i>Provkupongen har samma utformning som en mätkupong med den skillnaden att stålplattan har vägts före nedgrävning, så att dess viktsförlust kan bestämmas genom förnyad vägning efter uppgrävning. Viktsförlusten räknas sedan om till medelavfrätning, uttryckt i $\mu\text{m}/\text{år}$. Vidare mäts djupet hos eventuella gropfrätningssangrepp.</i> <i>Provkupong används vid kontroll av effektiviteten hos katodiskt skydd (dvs. den korrosionsnedsättande effekten) i de fall kontrollmätning av skyddspotential bedöms inte ge tillräcklig information om den katodiska skyddseffektiviteten.</i>
102. Provpolarisation:	Katodisk polarisering av stålytan (sänkning av elektrodpotentialen) i syfte att fastställa konstruktionens strömbehov för uppnående av katodiskt skydd. <i>Från en tillfälligt anordnad likströmsmatningsenhet matas likström ut i marken via ett nedslaget stålspett el. dyl. och vidare till konstruktionen. Likströmsutmatningen ökas successivt tills konstruktionens elektrodpotential har sänkts till skyddspotential, vanligen till -850 mV rel. referenselektroden "koppar/kopparsulfat". Likströmmen som behövs för uppnående av katodisk skyddspotential läses av och utgör konstruktionens totala strömbehov.</i>
103. Punktfrätning:	<i>Samma som gropfrätning</i> <i>Uttrycket används särskilt för gropfrätning på rostfritt stål.</i>
104. Påtryckt ström:	Katodiskt skydd med matning av <i>skyddsström</i> från yttre strömkälla <i>Se vidare katodiskt skydd.</i>
R	
105. Referenselektrod:	Icke polariserbar mätelektrod för bestämning av <i>elektrodpotential</i> .

	Vid mätning av stålkonstruktioners potential i jord används vanligen referenselektrod av typen mättad koppar/kopparsulfat (sat. Cu/CuSO₄). Vid mätning i vatten används även elektrod av typen mättad silver/silverklorid (sat. Ag/AgCl). (sat. = saturated) Vid mätningen placeras elektroden i markytan resp. i vattnet så nära konstruktionen som möjligt. Potentialen läses av på en likströmsvoltmeter. Alla referenselektroder har en viss, fast egenpotential på normalvätgaselektrodens potentialskala. Vid rapportering av uppmätt elektropotential måste det anges vilken referenselektrod som har använts.
106. Resistivitet (i korrosionssammanhang):	Vattens eller jords specifika motstånd mot att leda elektrisk ström. Resistivitet är inverterade värdet av konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga). Resistivitet anges i $\Omega\cdot m$ (tidigare i $\Omega\cdot cm$). Korrosionsinstitutet har givit ut en praktisk anvisning för mätning av jordresistivitet, KI - Bulletin Nr. 88.
107. Returkrets:	Sträcka med återledning av katodisk skyddsström Vid katodiskt skydd utgörs returkretsen av sträckan med återledning av den katodiska skyddsströmmen genom skyddsobjektet, t ex. stålarmeringen, åter till matningsenheten,
108. Returström (katodiskt skydd):	Katodisk skyddsström som går i det katodiska skyddets returkrets
109. Rippel:	Pulserande, icke helt slät likström Vid likriktningen av växelström i likriktare överlagras en växelspanning över likspänningen. Förhållandet mellan den överlagrade växelspanningens effektivvärde och likriktningens utgångsspanning från transformatorns sekundärsida kallas rippelfaktor och uttrycks i procent. Rippelfaktorn kan minskas med glättningsdon, som normalt utgörs av kondensatorer. Stort rippel i katodisk skyddsström kan inverka negativt på strömmens skyddsförmåga.
110. Rostfritt stål:	Höglegerade stål med minst 11 vikts-% krom Kolhalten är vanligtvis mycket låg, lägre än 0,05 vikts-%. Rostfria stål brukar grupperas efter deras metallografiska mikrostruktur, såsom ferritiskt stål, martensitiskt stål, austenitiskt stål och ferrit-austenitiskt stål (duplex-stål). Utöver krom (Cr), är nickel (Ni) och molybden (Mo) vanliga legeringsämnen i de mera högvärdiga rostfria stålen. De rostfria stålen är standardiserade med avseende på kemisk sammansättning. Det fanns mer än 100 olika rostfria stål som är standardiserade. Rör av rostfritt stål används till viss del i jordförlagda rörledningar. Exempel är rör vid tankstationer med motorgas, rörledningar från gasolcisterner och i raffinaderier, rörledningar för flygbränsle samt rör vid kommunala pumpstationer vid grundvattentäkter. I några kommuner finns flera kilometer markförlagda rostfria vattenledningar. Den vanligaste rostfria stålqualiteten i jordförlagda rörledningar är SS 2343, med 17% Cr, 11% Ni och 2,5% Mo som riktvärden för den kemiska sammansättningen.
111. Rostmån: (korrosionstillägg)	Ökning av godstjockleken hos en stålkonstruktion, t ex. stålplå, i syfte att ta hänsyn till att en del av godset kommer att rosta bort under pålens brukstid Rostmånens storlek bestäms av förväntad korrosionshastighet. Rostmånens $[t_R]$ beräknas enligt: $t_R [mm] = \text{dimensionerande värde på medelavfrätning [mm/år]} \times \text{dimensionerad livslängd [år]}$.
112. Sekundärverkan: (från katodiskt skydd)	Skadlig bieffekt av katodiskt skydd Sekundärverkan innebär ökning av korrosionen på en närliggande, främmande metallkonstruktion på grund av att den katodiska skyddsströmmen på dess väg till skyddsobjektet, uppträder som läckström och förorsakar läckströmskorrosion. Åtgärder mot sekundärverkan beskrivs i SS-EN 50162.
113. Shunt-mätning:	Mätning av ström i en ledare, genom att spänningsfallet mäts över en resistans med känt motstånd som har kopplats in i ledaren.

	<i>Vid shunt- mätningen går det också att få fram strömriktningen i ledaren. I betongsammanhang kan shunt- mätning användas för mätning av den katodiska strömstyrkan i en förbindelsekabel mellan två armeringssektioner. Ett motstånd kopplas in i förbindelsekabel över vilket spänningsfallet mäts. Strömstyrkan räknas fram med hjälp av ohms lag.</i>
114. Skyddsanod:	Samma som <i>anod</i> i samband med katodiskt skydd
115. Skyddsbeläggning:	Korrosionsskyddande, organisk eller oorganisk beläggning på t ex. en stålkonstruktion <i>Skyddsbeläggningar på jordförlagda konstruktioner är oftast tjock. Oorganisk beläggning i jord är praktiskt taget uteslutande zink, applicerad genom varmförzinkning. Tjock organisk beläggning i jord var tidigare asfaltbaserad, ofta förstärkt med jute- eller glasfiberväv. På stålrör förekom även stenkols-tjära som utvändig skyddsbeläggning. Sedan 1980-talet utgörs tjock beläggning i på jordförlagda stål- eller gjutjärnskonstruktioner vanligen av epoxi- plast (EP), polyeten- plast (PE) eller polypropen- plast (PP).</i>
116. Skyddsobjekt (katodiskt skydd):	Konstruktionen som skyddas med katodiskt skydd
117. Skyddspotential:	Elektrodpotential, vid vilken katodiskt skydd erhålls, dvs. där korrosionen är praktiskt försumbar <i>Enligt SS-EN 12954 är skyddspotentialen för stål olika i olika typer av medier.</i>
118. Skyddsström:	Likström, galvanisk eller likriktad, som matas från <i>anod</i> , genom <i>elektrolyten</i> till metallytan för uppnående av <i>skyddspotential</i> .
119. Skyddsströmbehov:	Se <i>strömbehov</i>
120. Skyddsströmtäthet (katodisk):	kvot mellan skyddsström och area hos metallyta som skyddas katodiskt. <i>Skyddsströmtäthet anges vanligen i mA/m².</i>
121. Skyddstransformator:	Transformator med extra hög isolation mellan primär- och sekundärlindningarna <i>Transformator för matning av katodisk skyddsström måste, enligt Elsäkerhetsverkets Starkströmsföreskrifter, vara av typen skyddstransformator.</i>
122. Slakarmering:	
123. Spaltkorrosion:	Typ av korrosion på, framför allt, rostfritt stål, som uppkommer i trånga, vattenfyllda spalter <i>Inne i spalten är syrehalten lägre än strax utanför. Stålytan blir aktiv i spalten och korroderar medan katodreaktionen, syrereduktion, sker på stålytorna utanför spalten. Mekanismen liknar den vid korrosion orsakad av luftningscell på olegerat och låglegerat stål i jord. Spaltkorrosion gynnas av förekomst av kloridjoner i elektrolyten.</i>
124. Sprutförzinkning:	Se <i>förzinkning</i>
125. Spont:	Se <i>stålspont</i>
126. Spännarmering:	
127. Spänningsstyp likriktare:	Se <i>likriktarenhet</i>
128. Starkströmsföreskrifterna:	Elsäkerhetsverkets föreskrifter om utförande och skötsel av elektriska starkströmsanläggningar, ELSÅK – FS 1995:5.
129. Strömbehov:	Katodiska strömstyrkan som behövs för att fullständigt katodiskt skydd ska uppnås på metallytan <i>Strömbehovet uttrycks som strömtäthet på konstruktionens yta, och anges vanligen i mA/m². Kännedom om strömbehovet behövs vid projektering av katodiskt skydd. Strömbehovet fås fram antingen genom en</i>

	<i>sk. provpolarisering på konstruktionen. Existerar ännu inte konstruktionen tas strömbehovet från tabellverk med erfarenhetsvärden vid olika förutsättningar.</i>
130. Strömbehovsmätning:	Samma som <i>provpolarisation</i>
131. Strömmatad anod:	Anod, genom vilken katodisk skyddsström matas ut i jorden, vattnet etc. från en strömmatningsenhet <i>Anodmaterialet är vanligen i det närmaste inert varför det förbrukas mycket lite i takt med strömmatningsenheten och tiden. Strömmatade anoder har därför mycket lång livslängd. Materialet är oftast kiseljärn, magnetitjärn eller titan belagt med ädelmetalloxider (platina, rutenium o. dyl.). Anoder av kiseljärn och magnetitjärn är stavformade medan belagda titananoder ofta är trådformiga eller har formen av ett nät.</i>
132. Stålspons:	Vertikal skärm i vatten eller jord bestående av stålplankor, låsta till varandra, och avsedd att uppta jordtryck eller förhindra vattengenomströmning <i>Stålspons förekommer permanent t.ex. i kajkonstruktioner i hamnar och i stödmurar för väg- eller järnvägsgenomskärningar genom landskapet. På stålspons i jord kan hänsyn tas till korrosionen genom tillämpning av rostmån. På stålspons i vatten är korrosionen så stor att tillämpning av rostmån inte är praktiskt/ekonomiskt rimligt. I stället måste någon typ av korrosionsskydd tillämpas, möjligen i kombination med rimligt avpassad storlek på rostmånen. Vanlig skyddsåtgärd på stålspons i hamnar är nedgjutning av krönbalken under vattenytan, där korrosionen annars är störst.</i> <i>Sammanställning av korrosionshastigheter på stålspons i vatten finns i Pålkommisionens Rapport 93.</i>
133. Strömmatningsenhet (katodiskt skydd):	Elektrisk enhet som matar skyddsström till anod <i>Strömmatningsenhet för katodiskt skydd av konstruktioner i jord/vatten/betong är likriktarenhet, batteri eller solcell.</i>
134. Strömstyv likriktare:	Se likriktarenhet
135. Strömtäthet:	Kvot mellan strömstyrka och area hos metallyta som strömmen flyter genom <i>Strömtäthet på metallyta anges vanligen i mA/cm² eller i A/m². Se även skyddsströmtäthet. Vid strömflöde genom jord/vatten/betong föreligger också en viss strömtäthet i mediet.</i>
136. Svetskorrosion:	Korrosion i svets eller i grundmaterialet strax intill svets på rostfritt stål <i>Orsaken är bristfälligt avlägsnade svetsoxider, icke fullständigt utfylld svets på rotsidan, felaktigt material i svetselektrod m.fl. orsaker.</i> <i>Man skiljer mellan: a) svetsgodskorrosion, b) svetszonkorrosion, och c) knivsnittskorrosion.</i>
137. Tillslagspotential:	Skyddspotential uppmätt när skyddsström flyter. <i>Tillslagspotentialen innehåller, förutom äkta skyddspotential, även ett IR-fall. Uttrycket kommer av att potentialen mäts med skyddsströmmen tillslagen. (eng. ON-potential). Tillslagspotential skrivs ibland: E_{fill}.</i> <i>Jfr. Frånslagspotential.</i>
138. Utbredningsresistans:	I stort sett samma som <i>jordtagsresistans</i> <i>Uttrycket används framför allt för en anodbädds eller en konstruktions jordtagsresistans i samband med katodiskt skydd. Även den frilagda stålytan i en skada i skyddsbeläggningen på skyddsobjektet har en utbredningsresistans.</i>
139. Vagabonderande ström:	Samma som <i>läckström</i>
140. Varmförzinkning:	Se <i>förzinkning</i>

141. Vattenlinjekorrosion:	Lokal korrosion omedelbart under vattenytan på föremål, t ex. <i>stålsfont</i> , delvis nedsänkt i vattnet
142. Vilopotential:	Korrosionspotential utan att metallytan är påverkad av främmande, elektriska strömmar
143. Väteförspädning (vid katodiskt skydd):	Förspädning av metall (i detta sammanhang stål) till följd av att stålet tagit upp atomärt väte <i>Vid katodiskt överskydd av stål kan väteatomer (H_0) bildas på stålytan, vilka omedelbart slås samman till vätgas ($H_{2(g)}$) och diffunderar bort från stålytan. I vissa medier, t ex. sulfidrik jord såsom gammal sjö- eller havsbotten, kan emellertid sammanslagningen av atomärt väte till vätgas hindras av sulfidjoner varvid väteatomer kan tränga in i stålet.</i> <i>Väteförspädning kan leda till sprickbildning om stålet utsätts för dragspänningar. Särskilt stål (kolstål eller rostfritt stål) med martensitisk mikrostruktur är känsligt för sprickbildning på grund av väteförspädning. Katodiskt skyddad förspänd- och efterspänd stålarmring kan av denna anledning utsättas för väteförspädning.</i>
144. Växelströmskorrosion:	Elektrolytisk korrosion som orsakas av växelström Se även <i>läckströmskorrosion</i>. <i>Korrosion orsakad av växelström observerades i praktiken först ganska nyligen, nämligen i slutet av 1980-talet. Därefter har åtskilliga fall med växelströmskorrosion påträffats på jordförlagda rörledningar i de flesta europeiska länderna, däribland Sverige.</i> <i>Växelströmskorrosion kan knappast uppstå på stålarmring av obelagt stål eller förzinkat stål i betongkonstruktioner. Skälet är att armeringen står i god förbindelse med elektrisk jord. Det är i stället främst långa och välisolerade pipelines som kan utsättas för växelströmskorrosion. Dessa ledningar förläggs ofta av markutrymmesskäl parallellt och nära intill högspänningskraftledningar och elektrifierade järnvägar. Som följd av lång parallellism och rörens goda isolation mot jord kan rörledningen anta en växelspänning genom induktion från kraftledningen resp. järnvägens kontaktledning. Växelspänningspåverkan kan även ske genom ett resistivt strömflöde genom marken. Resistivt strömflöde kan förekomma i marken intill elektrifierad järnväg och kring stålfundamentet till högspänningskraftledningsstolpar. På stålytor som är frilagda i små beläggningsskador på rörledningen kan växelströmstätheten bli mycket hög, och så hög att korrosion uppkommer. Motåtgär är elektrisk jordning av rörledningen.</i> <i>Växelströmskorrosion är ett komplicerat fenomen och trots omfattande forskning är mekanismen vid denna typ av korrosion ännu inte helt klarlagd.</i>
145. Övergångsresistans:	Samma som jordtagsresistans <i>Uttrycket används framför allt för en anods eller ett jordtags jordtagsresistans.</i>
146. Överskydd (vid katodiskt skydd):	Samma som <i>katodiskt överskydd</i>
147. Överspännings-skydd:	Elektrotekniskt don som skyddar mot <i>beröringsfarlig och/eller egendomsfarlig spänning</i>
148.	