



SOLUTION FOR CORRODING CONCRETE

Protector AS - Ringveien 6 - NO-3406 Tranby - Norway

Kunde:

Norges Bondelag

Utarbeidet av:

Protector AS
v/Øyvind Fremmergård

Ringveien 6
No-3409 Tranby
Norway

info@protector.no
www.protector.no

+47 - 32 22 08 10

VAT no: NO 979 640 366

Dato: 24.08.2021

Korrosjon i husdyrbygg

Del I: Rapport

Sammendrag

Landbruksnæringen har utfordringer med korrosjon i husdyrbygg. Uheldige material/miljø-kombinasjoner i husdyrbygg kan legge til rette for relativt høy korrosjonshastighet og hurtig skadeutvikling. Armeringskorrosjon er et velkjent problem og har vært direkte årsak til flere hendelser, hvor konstruksjoner har gått i brudd og dyreliv har gått tapt. Alvorligheten av potensielle konsekvenser gjør dette til den mest alvorlige utfordringen, knyttet til korrosjon i husdyrbygg.

Korrosjon på husdyrinnredning av galvanisert stål har i nyere tid fått mye oppmerksomhet. Dette er i hovedsak et estetisk og økonomisk problem, men kan også sette dyr i fare, dersom skadene blir store. Sammenkobling av ulike metaller er hovedårsaken til denne typen korrosjon. Mye tyder på at dette kan ha blitt et økende problem, grunnet krav til utjevningsforbindelser i husdyrbygg.

På grunn av høy fuktighet og husdyrgjødsel har mange husdyrbygg et miljø som er særdeles aggressivt for materialer. Gjødsele er en god leder for korrosjonsstrømmer og inneholder salter og syrer som effektivt bidrar til nedbrytning av metaller. Mangelfull luftutskifting i husdyrbygg vil kunne føre til høye konsentrasjoner av giftige og korrosive gjødselgasser som kan bryte ned metall.

Trolig er det mange tilfeller av alvorlig skadeutvikling, som ennå ikke er oppdaget i norske husdyrbygg. For dyr og menneskers sikkerhet, samt konstruksjonenes levetid er det viktig at forebyggende tiltak iverksettes. Tilstandsvurderinger bør utføres i jevne intervaller av personer med dokumentert kunnskap nedbrytningsmekanismer. På denne måten kan riktige rehabiliteringstiltak iverksettes før skadeomfanget blir for stort.



Innholdsfortegnelse

Sammendrag	1
Innholdsfortegnelse	2
1. Bakgrunn	3
2. Målsetting og avgrensninger	3
3. Husdyrbygg	4
4. Elektro i landbruket	5
5. Elektrolytt	7
6. Galvanisk korrosjon	8
7. Armeringskorrosjon	10
Karbonatiseringsinitiert korrosjon	11
Kloridinitiert korrosjon	12
8. Kjemisk og biologisk nedbrytning	13
9. Korrosjon som følge av påtrykt spenning	14
10. Konklusjon: Skademekanismer for korrosjon i husdyrbygg	16
Korrosjon på husdyrinnredning	16
Armeringskorrosjon i husdyrbygg	19
Korrosjon som følge av lekkasjestrømmer	19

1. Bakgrunn

Korrosjon er et utbredt problem i landbruket. Betongkonstruksjoner i husdyrbygg er ofte eksponert for et aggressivt miljø med høy fuktighet og korrosive stoffer fra blant annet husdyrgjødsel. Armeringskorrosjon har i flere tilfeller ført til at vegger og dekker i husdyrbygg har kollapse. Dette medfører store økonomiske og miljømessige konsekvenser, og kan i verste fall utgjøre fare for liv og helse for mennesker og dyr. I senere tid har korrosjonsskader i nyere husdyrbygg, også på husdyrinnredning og tekniske installasjoner, blitt observert. Korrosjon i husdyrbygg, og særlig på bærende konstruksjoner, er et alvorlig problem og det er sannsynlig at det finnes mange husdyrbygg med skader som ennå ikke er oppdaget. Det er ikke uvanlig at korrosjonsskader bidrar til å akselerere ytterligere skadeutvikling dersom det ikke iverksettes skadebegrensende tiltak.

I en rapport laget av Institutt for tekniske fag ved Norges Landbrukshøgskole (1999) ble det presentert data fra en omfattende undersøkelse av betongskader i gjødselkjellere. Det ble observert mange store skader som ble knyttet til en rekke ulike skademekanismer. Det er lite informasjon å oppdrive om hva som har blitt gjort av utbedringer, men for driftsbygninger som fremdeles er i drift kan en stille spørsmål om alle skader ble utbedret og om hvordan tilstanden er i dag. Rapporten viser at skader i husdyrbygg er et velkjent fenomen.

I landbruket er det vanlig at bonden selv er byggherre og står ansvarlig for oppføring av konstruksjoner og vurdering av vedlikeholdsbehov. Med en antakelse om at de færreste har inngående kompetanse om årsaker til og konsekvenser av korrosjon, anses det som nødvendig at dette settes i fokus.

Årsaker til korrosjonsskader kan være sammensatt av flere forhold som alene ikke ville gitt noen korrosjonsfare. Dette gjør det i mange tilfeller vanskelig å identifisere årsaken og dermed er det også komplisert å avklare om korrosjonsskadene må utbedres for bondens egen regning, om det er en garantisak, eller om det er en forsikrings sak. "Plutselige og uforutsette skader" er en vanlig betingelse for forsikringsselskapenes ansvar. Skader som oppstår over tid er dermed ikke dekket av forsikringen, selv om "over tid" er et relativt begrep. På bakgrunn av det ovennevnte har Norges Bondelag engasjert Protector AS for å kartlegge ulike skademekanismer relatert til korrosjon i husdyrbygg.

2. Målsetting og avgrensninger

Hovedformålet med rapporten er å drøfte, kartlegge og konkretisere de vanligste årsakene til korrosjon i husdyrbygg, samt knytte dette opp mot nedbrytning av konstruksjoner og generell HMS for mennesker og husdyr.

Videre er det utarbeidet en veileder, *Korrosjon i husdyrbygg, Del II: Veileder (2021)*, direkte rettet mot korrosjon, som kan brukes som et supplement til NEK TS 400 Landbruk ved nybygg eller vedlikehold av husdyrbygg for å forhindre eller begrense korrosjonsskader. Denne rapporten ligger til grunn for veilederen.

Konkrete skadebegrensende tiltak spesifiseres ikke i rapporten, men er samlet veilederen. Konsekvenser av korrosjon, utover det ovennevnte, som konsekvenser for ytre miljø, økonomi osv. vurderes ikke.

Det er ikke nøye vurdert i hvilken grad ulike typer husdyrhold og ulike typer gjødsel påvirker miljøet i husdyrbygg og nedbrytningsprosessene.

3. Husdyrbygg

Korrosjon er et velkjent problem i husdyrbygg og dessverre er det mange eksempler på at betongdekker har gått i brudd, eller at hele yttervegger i gjødselkjellere har falt ut. Slike hendelser har hatt alvorlige konsekvenser hvor dyreliv har gått tapt. Slike ulykker skyldes trolig mangelfull eller feil prosjektering, feil i utførelse, eller mangel på jevnlig tilstandskontroll og vedlikehold. I noen tilfeller kan kollaps også skyldes overbelastning som følge av endret bruk.

Materialene som brukes i husdyrbygg er ofte eksponert for stoffer som skaper et særdeles aggressivt miljø. Husdyrgjødsel inneholder stoffer som bryter ned materialer over tid. Fra gjødselen kan det også oppstå korrosive gasser som tærer på metall. Tidligere var avrenning fra gjødsellagring et større miljøproblem enn i dag. Slik avrenning fører blant annet til effektiv algeoppblomstring i vassdrag, som igjen utgjør fare for vannlevende organismer. På bakgrunn av dette kom det miljøkrav for å redusere avrenning og på denne måten har problemet blitt redusert. Dette har også hatt betydning for hvordan aggressive avfallsstoffer samles opp der gjødselen lagres og hvordan dette påvirker nedbrytning av materialer.

Det finnes mange måter å håndtere husdyrgjødsel på. I husdyrbygg med talle blandes halm inn i gjødselen på gulvet og massene trykkes sammen av dyra som går på tallen. Minst like vanlig er det å lagre alt som bløtgjødsel i gjødselkjeller eller separat gjødselkum. Bløtgjødsel vil lettere kunne trenge inn i konstruksjonsmaterialer og forårsake forvitring. Stoffer i gjødselen bidrar til å bryte ned betongen over tid, noe som både reduserer betongens overdekning og tetthet. I husdyrbygg er det normalt høy fuktpåkjenning og bruk av ulike strømaterialer som holder på fuktighet. Dette, sammen med materialer og masser med god elektrisk ledningsevne og kombinasjoner av ulike metaller, legger alt til rette for at ulike skademekanismer, knyttet til korrosjon, skal kunne settes i gang.

Måten husdyrbygget er oppført på har stor betydning for bestandigheten. For eksempel vil dekker over gjødselkjellere, bestående av smale betongdragere (f.eks. spalteplank), ha flere angrepspunkter enn et kompakt betongdekke i et husdyrrom med talle.

Grundig prosjektering og vedlikehold av konstruksjoner er det viktigste verktøyet vi har for å påvirke levetiden. Ved nybygg skal den prosjekterende vurdere hvilke nedbrytningsmekanismer betongkonstruksjonen kan utsettes for, og valg av materialer og løsninger skal skje i henhold til vurderingen.

Ved dimensjonering av betongkonstruksjoner skal miljøets aggressivitet vurderes før valg av betongtype. NS-EN 206 beskriver ulike eksponeringsklasser som igjen ligger til grunn for valg av bestandighetsklasse, som direkte setter krav til betongens tetthet og sammensetning. For husdyrbygg burde normalt eksponeringsklasse XA4 (Konstruksjoner i kontakt med husdyrgjødsel) være hyppig brukt, særlig for betongen som brukes i spalteplank, gjødselkjellere osv. For denne

klassen er det fastsatt krav til tilsetning av materialer som gjør betongen ekstra tett og bestandig. Erfaring viser imidlertid at betongkvaliteten i mange tilfeller er langt dårligere enn den burde være, og skader oppstår som følge av dette. I tillegg rapporteres det om konstruksjoner med altfor lav overdekning av betong over armering, underdimensjonert armering, og dårlig utførelse ved støpearbeider.

Det kreves inngående kunnskap om betong og nedbrytningsprosesser for å bestemme riktige metoder og intervaller for vedlikehold. De fleste husdyrbygg er eid av enkeltmannsforetak og det er ofte en enkelt person som innehar rollen som både byggherre, prosjekterende og rådgiver. Det er grunn til å tro at prosjektering og vedlikehold ofte neglisjeres og/eller utføres feil. I tillegg kan utførelsesfeil av entreprenør/håndverker være en medvirkende årsak til redusert bestandighet for husdyrbygg.

Det finnes eksempler på mangelfull samkjøring på tvers av fagfelt under byggearbeider som resulterer i forringet kvalitet på det endelige resultatet. Et eksempel på dette er at montører av innendørsmekanisering kjerneborer, sager og monterer bolter i betongen uten å ta hensyn til hvordan dette kan gi uheldige konsekvenser for konstruksjonens bestandighet.

I nyere tid har korrosjon på innredning og tekniske installasjoner i husdyrbygg blitt satt i fokus. Flere bønder opplever korrosjon på relativt nye installasjoner og i mange rapporter knyttes skadeutviklingen til galvanisk korrosjon.

4. Elektro i landbruket

Norge er et av landene i verden hvor dyrevelferd i landbruket anses som svært viktig. Det stilles krav til byggutforming, materialvalg, VVS, elektro osv. for at dyrene skal ha det best mulig.

Dyrevelferdsloven i Norge har til hensikt å fremme god dyrevelferd og respekt for dyr. Loven sier blant annet dette:

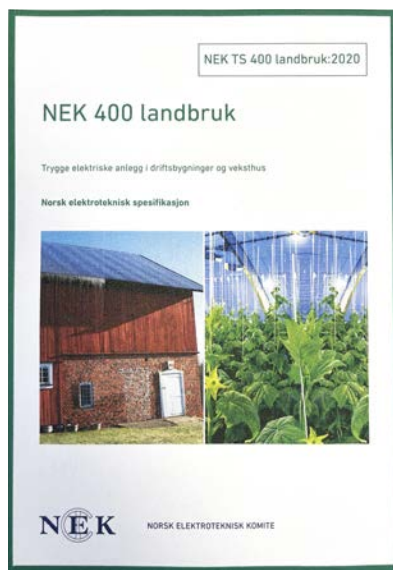
- Dyr skal behandles godt og beskyttes mot fare for unødige påkjenninger og belastninger.
- Dyreholderen skal påse at driftsformer, metoder, utstyr og tekniske løsninger som brukes til dyr, er egnet til å ivareta hensynet til dyrenes velferd.

Store mengder støv i husdyrbygg, i kombinasjon med uforsvarlige eller mangelfulle el-installasjoner, har ført til mange branner hvor dyreliv har gått tapt. I en rapport utarbeidet av Landbrukets brannvernkomite ble det rapportert at nærmere 50 % av brannene i landbruket hadde sammenheng med elektriske installasjoner og ytterligere 20 % hadde sammenheng med elektrisk utstyr. Det har blitt iverksatt viktige tiltak som har bidratt til å redusere branner i husdyrbygg betraktelig. Blant tiltakene er bruk av termograferingskamera og et nytt kontrollregime for el-installasjoner. Dette kontrollregimet har hatt en svært god effekt.

Krav til å utjevne (jorde) armering kom i 2006 i standard for elektriske lavspenningsinstallasjoner (NEK 400) og fungerte fra 2006/2007. I NEK 400 presiseres krav om tilleggsutjevningforbindelse (jording) av innredning: «Alle utsatte ledende deler og ledende deler som samtidig kan berøres av husdyr», og armeringsnett: «Der et metallisk nett er lagt ned i gulvet, skal dette tilkobles tilleggsutjevningforbindelse for området. Videre sier NEK 400 at «Tilleggsutjevningforbindelse og

det metalliske nettet skal være montert slik at det gir varig beskyttelse mot mekaniske påkjenninger og korrosjon.» Hvordan utførelse skal sikre varig beskyttelse mot korrosjon er nærmere beskrevet i teknisk spesifisering for elektro i landbruksbygg «NEK TS 400 landbruk».

For å ytterligere forbedre drifts- og el-sikkerhet er det utarbeidet en teknisk spesifisering for elektro i landbruket. NEK TS 400 Landbruk kan, etter avtale mellom byggherre og prosjekterende, benyttes som et tillegg til NEK 400 og stiller skjerpede krav til lavspenningsinstallasjoner i blant annet husdyrbygg. Spesifikasjonen inneholder også informasjon om metoder for beskyttelse mot korrosjon.



Husdyr er følsomme for strømgjennomgang, og for å unngå at de utsettes for berøringsspenninger er det bestemt at det skal etableres tilleggsutjevningsforbindelser mellom alle utsatte ledende deler og andre ledende deler dersom disse samtidig kan berøres av husdyr. Det beskrives spesifikt at armering i betong og husdyrinnredning kobles til hovedjordskinnen i det elektriske anlegget. Med "andre ledende deler" menes deler som er elektrisk ledende, men som ikke inngår i el-installasjonen.

Det presiseres at det må tas hensyn til at sammenkobling av metaller kan føre til galvaniske strømmer mellom metallene, og dermed også korrosjon. I den tekniske spesifiseringen er det forsøkt å definere noen praktiske retningslinjer for utførende, men det er mangel på figurer/skisser som tydeliggjør prinsipper for hvordan praktiske, korrosjonsresistente løsninger kan utføres.

5. Elektrolytt

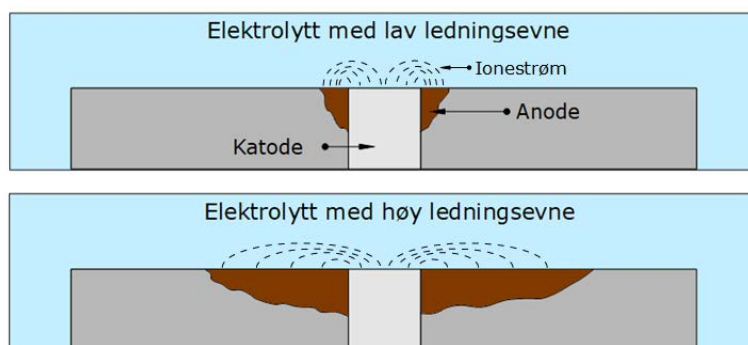
En elektrolytt er et stoff som inneholder frie, bevegelige ioner, og som dermed kan lede strøm. Rent vann har svært lav ledningsevne og fungerer nærmest som en isolator. Om det tilføres ioner til vannet ("forurensning") blir løsningen en elektrolytt, og ledningsevnen forbedres.

Når strøm ledes gjennom metaller, fraktes elektriske ladninger via frie, bevegelige elektroner. Til motsetning er elektrolytt et materiale som er elektrisk ledende, hvor elektriske ladninger transporteres via frie, bevegelige ioner. Elektrolytisk kontakt er vesentlig for at korrosjon skal kunne skje, og i husdyrbygg kan elektrolytt finnes i mange former:

- Fuktig strø
- Betong
- Base/syre som brukes til vask
- Husdyrgjødsel
- Stort sett alle fuktige materialer

Økt ledningsevne i elektrolytten vil tillate raskere og hyppigere forflytning av ladningsbærende ioner, og på denne måten vil en godt ledende elektrolytt legge til rette for hurtigvirkende korrosjon. Hvilke typer ioner elektrolytten inneholder, samt konsentrasjonen av dem, har svært stor betydning for ledningsevnen, og ioner med høy mobilitet vil derfor kunne flytte mer strøm enn ioner med lavere mobilitet. Eksempler på sterke elektrolytter er løsninger med vanlig salt (NaCl) og svovelsyre (H_2SO_4).

I tillegg til at elektrolyttens ledningsevne har betydning for korrosjonsrisiko og korrosjonshastighet vil den også kunne påvirke utbredelsen av korrosjonen, da en elektrolytt med høy ledningsevne tillater transport av ioner over lengre distanser.



Mange er ikke klar over at betong også er en elektrolytt som kan lede strøm. Det er kjent at betongens resistivitet (evnen til å motstå strømgjennomgang) har direkte innvirkning på korrosjonsrisiko og korrosjonshastighet. Betong med høy resistivitet vil bremse strømtransport via ioner i betongen og dermed bremse korrosjon. Dersom betongen forurenses kan resistiviteten reduseres og dette vil øke sannsynligheten for korrosjon.

Varmeluft kan holde på større mengder fuktighet enn kaldluft. Derfor kondenserer vann på overflater som er kaldere enn luften. Det kondenserte vannet kan bli en elektrolytt ved at det forurenses av stoffer på overflaten og på denne måten kan det oppstå elektrolytisk forbindelse mellom ulike metaller, selv der metallene ikke er i direkte kontakt med husdyrgjødsel på gulv, betong eller andre "vanlige" elektrolytter.

6. Galvanisk korrosjon

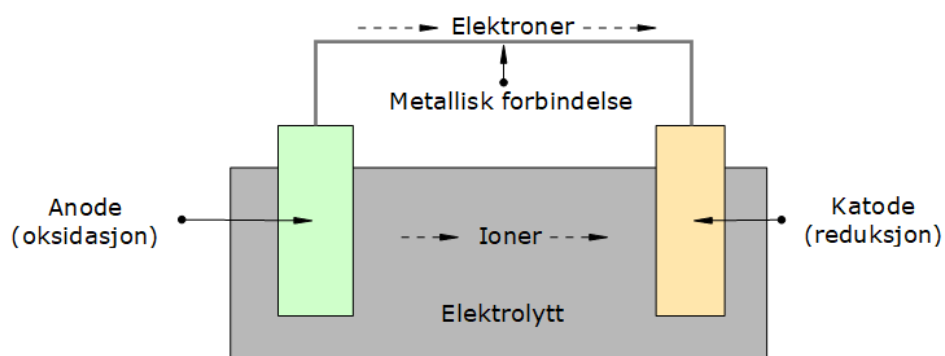
Naturlige forekomster av metaller er som regel i form av oksider, sulfider, samt andre forbindelser, og naturen vil alltid forsøke å bryte ned raffinert metall tilbake til denne stabile tilstanden. Den vanligste nedbrytningsmekanismen for metaller er korrosjon, en elektrokjemisk prosess som omdanner kjemisk energi til elektrisk energi.

En korrosjonscelle består av fire vesentlige komponenter:

- Anode, hvor oksidering og nedbrytning av metall forekommer
- Katode, hvor reduksjon og beskyttelse av metall forekommer
- Metallisk kontakt mellom anode og katode (transport av elektroner)
- Elektrolytisk kontakt mellom anode og katode (transport av ioner)

I tillegg må det være en betydelig forskjell i galvanisk potensial mellom anode og katode. Dette er den drivende kraften i korrosjonscellen, og større potensialforskjeller vil kunne gi mer aggressiv korrosjon. Forskning viser at potensialforskjeller mellom anode og katode som er mindre enn 200 mV (målt i sjøvann) vil føre til et relativt saktegående korrosjonsforløp. Korrosjonshastigheten vil være høyere i elektrolytter med bedre ledningsevne ved samme potensialforskjell.

Når korrosjon er initiert vil forholdet mellom katode- og anodeareal ha stor betydning for korrosjonshastigheten. En stor potensialforskjell mellom en liten anode og en stor katode kan gi svært aggressiv korrosjon.

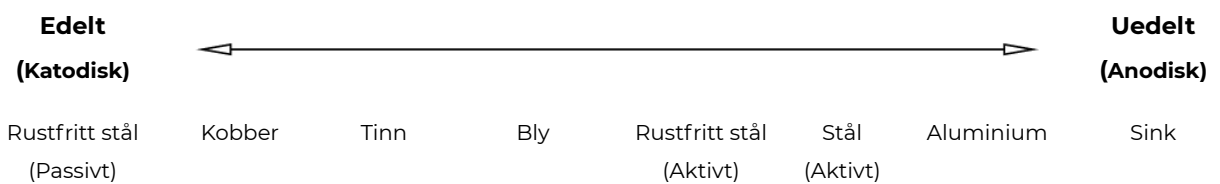


Figuren over viser en korrosjonscelle, det vi i dagligtale kaller et batteri. Strømmen går som en elektrontransport gjennom den metalliske lederen. Gjennom elektrolytten går strømmen som en ionetransport. Korrosjonen vil alltid skje der hvor anoden er i kontakt med elektrolytten.

I NEK TS 400 Landbruk påpekes det at sammenkobling av ulike metaller kan gi fare for galvanisk korrosjon og at metaller som sammenkobles bør ha så like elektrokjemiske egenskaper som mulig for å redusere faren. I tillegg antydes det at rustfritt stål i jordingsanlegget har vist seg å være

positivt for å forebygge galvaniske påvirkninger. Likevel brukes ofte ledere av kobber til jording og det rapporteres om at det i mange tilfeller har blitt brukt uisolerte ledere.

Galvanisk korrosjon, også kalt *bimetallkorrosjon*, er en type nedbrytning som er forårsaket av at to eller flere ulike metaller er metallisk og elektrolytisk forbundet. Det edleste metallet blir i slike tilfeller katoden, og det minst edle blir anoden. Anoden er det metallet som korroderer og ofrer seg for den edlere katoden. Under vises den galvaniske spenningsrekken med et utvalg av vanlige bruksmetaller, sortert etter grad av edelhet. Jo lenger fra hverandre metallene er i spenningsrekken, desto større er potensialforskjellen mellom metallene, som er den drivende kraften for korrosjonen. Spenningsrekken under gjelder for potensialer målt mot referanseelektroder i sjøvann.



Et metalls elektrokjemiske potensial kan også variere i ulike miljøer. Et eksempel på dette er vanlig armering av karbonstål. Før det støpes inn i betongen er det aktivt. Hvis armeringen bli utsatt for fuktighet tar det kort tid innen man kan se overflaterust. Når armeringen støpes inn i betong reagerer stålet med betongen og det passiveres. Dette gir et mye høyere elektrodepotensial enn for aktivt stål og kan dermed gi større risiko for galvanisk korrosjon i kombinasjon med mindre edle metaller. Forskning antyder at armeringsjern som er innstøpt i betong (passivt) får et potensial som er i samme område som passivt rustfritt stål.

Varmforsinking (også kalt galvanisering) er en prosess som benyttes for å korrosjonsbeskytte underliggende stål og det er svært vanlig at husdyrinnredning er laget i dette materialet. Det går ut på at stål dyppes i smeltet sink, som er et uedelt metall med elektrodepotensial som er lavere enn for de fleste andre bruksmetaller. I tørre miljøer reagerer sink med luften i omgivelsene og det dannes et passivsjikt av sinkoksid på overflaten. I fuktige miljøer reagerer sinkoksid med vann og CO₂ og omdannes til basisk sinkkarbonat. Dette er svært stabilt og dermed forhindres videre korrosjon av sinken. Denne egenskapen kan man utnytte til å beskytte det underliggende stålet i de fleste miljøer.

Sinkbelegget er i metallisk kontakt med stålet og metallene har en betydelig forskjell i elektrodepotensial, men ettersom sinkbelegget forhindrer stålet i å komme i kontakt med elektrolytt oppstår det altså ingen korrosjonsceller. Dette gjelder ikke dersom en ekstern katode introduseres, som for eksempel armering i den samme betongen som det galvaniserte stålet er støpt inn i. Fra tidligere studier er det kjent at galvanisert stål i betong kan ha en positiv effekt mot karbonatiseringsinitiert korrosjon. Det gir imidlertid ingen god beskyttelse i tilfeller hvor betongen er kloridinfisert. Initieringsprosessene forklares nærmere i kommende kapitler.

7. Armeringskorrosjon

Armeringskorrosjon anses som den nedbrytningsmekanismen som utgjør størst fare for betong og infrastruktur i verden.

Betong har lenge blitt ansett som et evigvarende materiale og det vises ofte til romerske byggverk som fremdeles eksisterer, over tusen år etter de ble bygget. Moderne byggeskikk skiller seg drastisk fra dette ved at armering har blitt introdusert i betongen.

Betong har høy trykkfasthet, men lav strekkfasthet (ca. 10%). For at en betongkonstruksjon skal kunne ta opp strekkrefter støpes armeringsjern inn i betongen. På denne måten er det mulig å bygge lange, slanke konstruksjoner med relativt lav egenvekt.



Bruk av armering i betong gir oss fleksibilitet til å utforme konstruksjoner på en måte som tidligere ikke var tenkelig. Som eksempel ville det ikke vært mulig å bygge hengende dekker og bjelker av betong uten noen form for armering.

Sett bort fra enkelte pilotprosjekter er det utelukkende stål som brukes som armering. Stål er billig i forhold til strekkapasiteten materialet gir og det ekspanderer og krymper omtrent likt som betong ved temperaturforandringer, som er vesentlig for samvirket mellom materialene.

Den høye pH-verdien i betong gjør at det dannes et tynt oksidsjikt på armeringsoverflaten. Sjiktet forhindrer korrosjon effektivt så lenge det er intakt og armeringen er passivert.

Armering i betong introduserer imidlertid noen utfordringer. Ytre påvirkninger kan bryte ned oksidsjiktet over tid, som gjør at armeringskorrosjon kan initieres. I nye, ideelle konstruksjoner er all armeringen passivert, uten nevneverdige potensialforskjeller. Stedvis nedbrytning av oksidsjiktet fører til at det oppstår områder på armeringen (anoder) med et potensial som er forskjellig fra områdene hvor passivfilmen er intakt (katoder). De anodiske områdene kan på denne måten korrodere. Potensialforskjeller som driver korrosjon kan altså oppstå på forskjellige måter.

Når jern korroderer produseres rustprodukter som opptar mange ganger så stort volum som det opprinnelige jernet, og volumøkningen påfører betongen interne spenninger. Dette kalles rustsprengning og når kreftene blir større enn betongens strekkapasitet vil det oppstå avskallinger.



Over tid vil korrosjon føre til at det konstruktive armeringstverrsnittet reduseres, som har direkte innvirkning på konstruksjonens bæreevne. Dersom en tilstrekkelig andel av den konstruktive armeringens tverrsnitt brytes ned vil konstruksjonen kollapse.

Karbonatiseringsinitiert korrosjon

CO₂ i luft finnes i ulike konsentrasjoner overalt. For betong som er eksponert for luft kan CO₂ trenge inn i betongens porestruktur. Gassen reagerer med kalsiumhydroksid i betongen og det dannes kalsiumkarbonat. Prosessen kalles karbonatisering og forårsaker at pH-verdien i betongen reduseres. Overgangen mellom karbonatisert og ikke-karbonatisert betong kalles "karbonatiseringsfront" og over tid vil fronten stadig bevege seg lenger inn i betongen. Når karbonatisering gjør at pH-nivået rundt armeringen reduseres til ca. 9,5 brytes oksidsjiktet på armeringsoverflaten ned og korrosjon kan initieres.

Hvor lang tid det tar før karbonatisering blir et problem er i hovedsak avhengig av avstanden mellom betongoverflate og armering (overdekning), men også av betongens tetthet/permeabilitet. Betongens permeabilitet styres i stor grad gjennom betongsammensetningen og valg av delmaterialer. Utførelsen av støp vil også ha stor betydning for bestandighet som oppnås i den herdede betongen. Inhomogeniteter, som riss eller steinreir, har stor betydning for karbonatiseringshastigheten.

Karbonatisering vil normalt føre til at større områder korroderer enhetlig og relativt sakte. I slike tilfeller kan det være mulig å oppdage korrosjonen før skadene blir for store. For eksempel ved at begynnende avskalling (som følge av rustsprengning) kan oppdages ved bombanking, ved at man kan se rustutslag eller riss i betongoverflaten eller lignende.

Kloridinitiert korrosjon

Lave konsentrasjoner av klorider rundt innstøpt armering vil normalt være uproblematisk. Men dersom konsentrasjonen av klorider blir tilstrekkelig høy vil dette effektivt kunne bryte ned oksidsjiktet og muliggjøre korrosjon. Det er flere årsaker til at klorider kommer i kontakt med betong:

- Konstruksjoner i maritimt miljø
- Vann og tilslag (sand og stein) fra maritimt miljø brukt i betongproduksjon (ikke lenger tillatt)
- Salt tilsatt fersk betong som herdningsakselerator (ikke lenger tillatt)
- Salt brukt for å tine is og snø i støpeform/forskaling før støping. (ikke lenger tillatt)
- Saltholdig smeltevann (veisalt) fra kjøretøy
- Urin fra husdyr
- Søl fra slikkesteiner og evt saltholdig fôr
- Lagring av strøsand med salt, skjellsand etc.

Selv om tilsiktet tilsetning av salt ikke lenger er tillatt, er det fremdeles mange konstruksjoner med pågående skadeutvikling som følge av dette.

Kloridinitiert armeringskorrosjon anses som en større risiko enn korrosjon forårsaket av karbonatisering. Årsaken til dette er at klorider ofte bryter ned oksidsjiktet i lokale områder. Dette gir potensialforskjeller mellom en lite anodeareal og et stort katodeareal, som ofte vil resultere i svært høy korrosjonshastighet.

Kloridinitiert armeringskorrosjon kan føre til at metallet angripes i et lite punkt. Dette kalles pitting/groptæring og er vanlig for alle metaller som kan danne oksidsjikt. Slike skader kan være umulige å oppdage før de blir alvorlige. I mange tilfeller kan man se at hele armeringstverrsnittet har blitt brutt ned i et lite område og at jernet rundt er uberørt. Bildet under viser et eksempel på hvordan denne typen lokal nedbrytning kan se ut. Utenfor det anodiske området er det ikke engang overflaterust. Armeringsstangen er hentet ut av et parkeringsdekke.



Høy konsentrasjon av kloridioner vil i tillegg bidra til økt ledningsevne i betongen, som også er en viktig faktor for korrosjonshastigheten.

Normalt regnes kritisk grenseverdi for kloridinnhold til 0,4% av betongens sementvekt. Dette anses som den mengden klorider som betong kan binde opp kjemisk og disse kloridene utgjør ikke nødvendigvis noen fare for korrosjon. Større konsentrasjoner omfatter frie klorider som kan bryte

ned oksidsjiktet rundt armeringen og forårsake korrosjon. Det vises ofte til tabeller hvor kloridinnhold og risiko for korrosjon sammenlignes:

Totalt innhold av klorider i % av sementvekt	Korrosjonsrisiko
< 0,4	Minimal
0,4 - 1,0	Mulig
1,0 - 2,0	Sannsynlig
> 2,0	Sikker

Kritisk grenseverdi kan imidlertid være lavere, for eksempel når klorider og karbonatisering opptrer i betongen samtidig. Kjemisk bundne klorider løses lettere ved lavere pH og dermed kan karbonatisering føre til en anrikning av klorider foran karbonatiseringsfronten.

En vanlig oppfatning er at betongskader kan repareres lokalt ved fjerning av løs betong og reparasjon med egnet mørtel. Dette stemmer bare delvis. Reparasjonsmørtelen vil kunne repassivere jernet slik at det er beskyttet mot videre korrosjon lokalt. Men armeringsarealet som ligger i randsonen av reparasjonen vil ikke nødvendigvis være beskyttet og det er svært vanlig at det oppstår nye skader etter kort tid. Dette gjelder særlig for kloridinfisert betong.

8. Kjemisk og biologisk nedbrytning

Kjemiske og biologiske nedbrytningsprosesser kan i stor grad påvirke bestandigheten til konstruksjoner og har ofte direkte innvirkning på initieringstiden til armeringskorrosjon.

Kjemisk nedbrytning kan forårsake oppløsning av sementpastaen som gjør at betongen smuldrer opp og dette er typisk for syreangrep. I tillegg kan kjemisk angrep forårsake volumekspansjon av betongen, som gir indre spenninger og kan forårsake sprekkdannelser i betongoverflaten.

Det finnes en rekke gasser som har korrosive egenskaper. Fra elektrokjemisk betongrehabilitering er det kjent at klogass kan dannes ved høye påtrykte spenninger. Klogass er giftig ved høye konsentrasjoner og har en karakteristisk lukt av klor. Når gassen blandes med fuktighet dannes saltsyre som er korrosivt. Syren kan på kort tid danne overflaterust på alle utsatte metalleder.

Det er ingen grunn til å tro at klogass er spesielt utbredt i husdyrbygg, men det finnes gjødselsgasser som kan ha lignende egenskaper. Biologisk nedbrytning innebærer levende organismer som direkte eller indirekte bryter ned betongen. I tette rom med lite utskifting av luft kan dette være et problem og denne typen nedbrytning er ofte observert i kloakkrør hvor sulfatreduserende bakterier produserer hydrogensulfider. Når disse blandes med fuktighet dannes det svovelsyre som er svært korrosiv. I den tidligere omtalte rapporten fra Norges Landbrukshøgskole ble det også konkludert med at bakterier i husdyrgjødel kan omdanne ammoniakk til salpetersyre som kan bryte ned betongen.

En annen form for biologisk nedbrytning er begroing (mose o.l.) som holder på fuktighet og på denne måten kan medvirke til frostsprengning (mekanisk nedbrytning) i frostutsatte konstruksjoner.

I tillegg kan husdyrgjødsel gi relativt store konsentrasjoner av ammoniakk. Når denne gassen blandes med vann dannes vannløst ammoniakk (salmiak) som vil ha en korrosiv effekt på mange metaller. Sink er i stor grad et metall som ikke burde være i kontakt med slike løsninger, da det lett vil kunne korrodere. Jern og stål er imidlertid ikke utsatt for korrosjon i kontakt med vannløst ammoniakk, selv om utvikling av hydrogensprøhet har vist seg å være et problem for disse metallene i kontakt med denne typen syre.

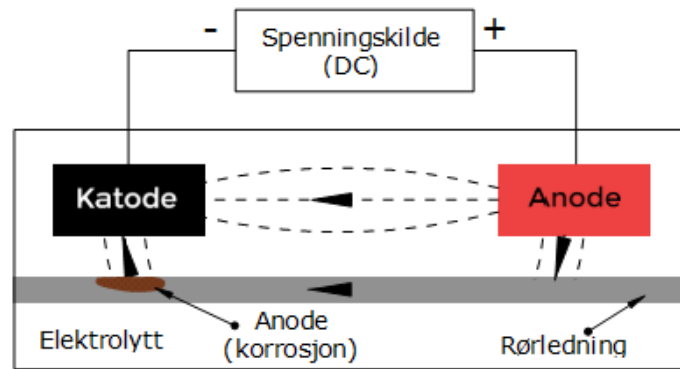
Forskning støtter påstanden om at stål og sink kan korrodere når det er i kontakt med husdyrgjødsel, og gjødsel fra storfe har vist seg å være spesielt aggressivt. Det er enighet om at det er den høye andelen av urea, urinsyre, ammoniakk, ammoniumsalter, og naturlig tilførte klorider (eksempelvis fra fôr) som bidrar til økt korrosjonsrisiko. I tillegg nevnes sulfatreduserende bakterier i gjødselen som en indirekte kilde til svært korrosiv svovelsyre. Forskningen viser at forsinket stål i kontakt med husdyrgjødsel korroderer saktere enn ubeskyttet stål, men at sinken kan brytes ned relativt raskt dersom forholdene ligger til rette for det..

9. Korrosjon som følge av påtrykt spenning

Spenning som påtrykkes mellom anode og katode kan gi ønskede, såvel som uønskede effekter. Spenning kan påtrykkes et system for å gjøre det man ønsker å beskytte om til katode, som ikke korroderer. Dette kalles katodisk beskyttelse. Det krever også at noe benyttes som anode. Ved katodisk beskyttelse av betong er armeringen elektroden man ønsker å beskytte (katoden). Ved å montere en anode (f. eks. elektrisk ledende maling) på betongoverflaten og å påtrykke en likespenning mellom anode og katode, kan man forhindre/stoppe korrosjon. Beskyttelsesstrømmen brukes til å polarisere armeringen i katodisk retning. Polariteten kan vendes om, slik at armeringen trykkes i anodisk retning og på denne måten får man armeringen til å korrodere.

Lekkasjestrømmer fra elektriske anlegg kan gi samme effekt og dette er et velkjent problem fra jernbaneteknikk, anlegg for katodisk beskyttelse og fra høyspentlinjer. Lekkasjestrøm er strøm som går andre veier enn tiltenkt. Dette kan resultere i at det dannes korrosjonsceller med anoder og katoder som minner om galvaniske celler (hvor spenningsforskjell oppstår på grunn av ulike metaller). Spenningsforskjeller som følge av lekkasjestrømmer kan imidlertid være mye større og forårsake raskere korrosjon.

Under vises et eksempel på hvordan lekkasjestrømmer fra et anlegg for katodisk beskyttelse kan forårsake korrosjon på en metallisk rørledning som ikke er koblet til anlegget. Katoden er beskyttet, anodematerialet er korrosjonsresistent, men på overflaten av den metalliske rørledningen, hvor lekkasjestrømmer beveger seg, oppstår det korrosjon der hvor strømmen ledes over til katoden. Elektrolytten kan være jord, betong, vann e.l.



Risikoen for armeringskorrosjon i betong grunnet lekkasjestrømmer er svært liten for betong av høy kvalitet, med høy pH-verdi og som ikke er kloridinfisert. Dette fordi innstøpt stål er passivert og fordi resistiviteten er høy. Dersom betongen er kloridinfisert kan lekkasjestrømmer ha svært alvorlige konsekvenser, selv om kloridkonsentrasjonen er lav. Dette skyldes delvis at kloridionene reduserer betongens resistivitet.

Lekkasjestrømmer kan både være likestrøm og vekselstrøm, avhengig av kilden de kommer fra, men forskning viser at lekkasjestrømmer fra vekselstrømskilder (AC) utgjør langt mindre risiko for korrosjon enn fra likestrømskilder (DC). AC-korrosjon er dessuten mer komplekst og situasjonsavhengig, men det er foreslått grenser for anodisk strømtetthet og risiko for korrosjon.

Strømtetthet (AC) [A/m ²]	Korrosjonsrisiko
<20	Lav
Mellom 20 og 100	Mulig
>100	Sannsynlig

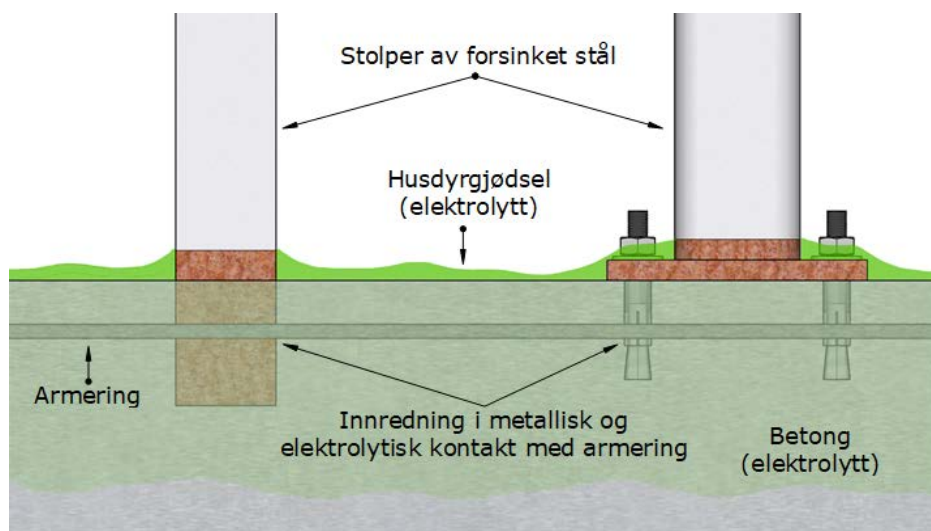
10. Konklusjon: Skademekanismer for korrosjon i husdyrbygg

Korrosjon på husdyrinnredning

Varmforsinket stålinnredning i husdyrbygg korroderer i mange tilfeller etter kort tid. Dette er noe som også observeres i veianlegg når varmforsinkede stolper støpes inn i betong. Problemer kan oppstå når det opprettes metallisk kontakt mellom stolper og armering ved at:

- Stolpene støpes inn i betongdekket
- Stolpene boltes fast og boltene kommer i kontakt med armering
- Stolper og armering kobles til felles jordingsskinne av hensyn til potensialutjevning

Korrosjon som oppstår som følge av dette kan være svært aggressiv, ettersom katodearealet (armeringen) er stort og anodearealet (forsinket stål som er i kontakt med elektrolytt) er lite. Når sinkbelegget har korrodert bort kan korrosjonen fortsette på det underliggende stålet som tidligere var beskyttet, ettersom stål som er passivert på grunn av høy alkalinitet i betong vil ha et høyere potensial enn stål i kontakt med husdyrgjødsel.

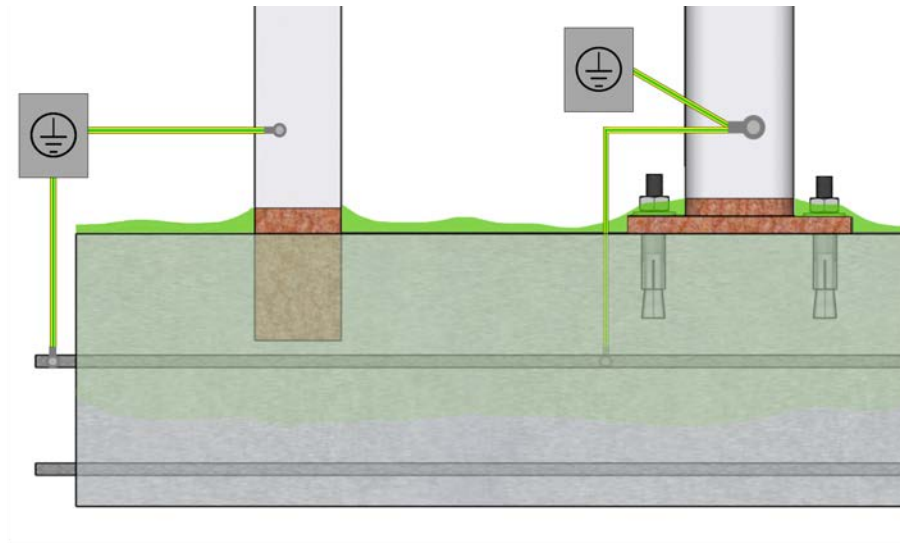


Som nevnt er betongen også en elektrolytt. Den trenger ikke å være forurenset av husdyrgjødsel for å kunne lede strøm via ioner, men denne typen forurensning vil utvilsomt redusere resistiviteten. Kombinert med høy fuktpåkjenning, som forhindrer elektrolytten i å tørke ut, gjør dette husdyrbygg til et særdeles aggressivt korrosjonsmiljø.

Betongdekker er ofte tettarmerte og det er sannsynlig at innstøpte eller fastmonterte detaljer kommer i kontakt med armering. På denne måten kan kriteriene for at korrosjon skal kunne skje oppfylles. Gjeldende krav til tilleggsutjevningsforbindelser vil i tillegg medføre metallisk kontakt mellom slike konstruksjonsdeler.

Alle jordtilkoblinger ender omsider opp på samme hovedjordskinne, og i praksis har det liten betydning om konstruksjonsdelene er koblet til jord via hver sin kobberleder eller om de er koblet i serie, ettersom metallisk kontakt uansett er sikret. Motstanden i lengre strekk med jordingskabler vil

føre til et spenningsfall, men dette er svært lite grunnet god konduktivitet i kobberledninger med de kabelverrsnitt som normalt benyttes.



Bildene under viser reelle eksempler på ovennevnte fenomen (fra "Rust rapport" av Morten Algarheim).



I tilfeller hvor det er benyttet uisolert kobberwire til utjevningsforbindelser vil dette også kunne bidra til galvanisk korrosjon, ikke bare fordi kobber er edlere enn sink, men også fordi kobberet sikrer god metallisk forbindelse mellom armeringstål og husdyrinnredning med sinkbelegg. I tilfeller hvor stålet er passivt og edlere enn kobber er det fare for at kobberet korroderer og utjevningsforbindelser blir brutt.

Det stilles spørsmål til hvorvidt kobber alene kan forårsake store korrosjonsskader andre steder enn der den er tilkoblet husdyrinnredningen og hvor begge metaller er i kontakt med elektrolytt.

Kobberet som katode vil normalt ha relativt liten overflate i forhold til andre metaller. Elektrolyttens ledningsevne vil ha betydning for korrosjonens utbredelse.

Blankt kobber kan også føre til galvanisk korrosjon på depassivert armering, men sannsynligvis vil skadeutviklingen være begrenset til lokale områder. Uisolert kobber bør likevel ikke under noen omstendighet benyttes som jordforbindelse i betong.

Dersom sinkbelegget som påføres stålinnredning er for tynt vil dette redusere varigheten av beskyttelsen. Leverandører av galvanisert stålinnredning viser til uavhengige kontroller av sinksjiktets tykkelse og i tillegg utføres internkontroller ved produksjon. Galvanisk korrosjon som resultat av sammenkobling av armering/blank kobber og forsinket stål vil kunne gi et korrosjonsforløp som husdyrinnredningen ikke er dimensjonert for å motstå. Ettersom det kan være tilnærmet umulig å unngå metallisk og elektrolytisk kontakt ved tradisjonelle monteringsmetoder (og nyere krav til utjevningsforbindelser) er det åpenbart et behov for å vurdere alternative monteringsmetoder, eller husdyrinnredning av annet materiale enn galvanisert stål. Det kan også være hensiktsmessig å gjøre stedlige vurderinger av hvor tilleggsutjevningsforbindelser er overflødig og kan unngås.

Mekanisk slitasje på innredning, enten fra husdyr, maskiner eller redskaper, vil kunne føre til at sinkbelegget på innredning gradvis slites bort, slik at det underliggende stålet eksponeres. Dette kan gi lokale korrosjonsangrep.

Korrosjon på husdyrinnredning kan utvikle seg til å bli et alvorlig problem og i tilfeller hvor innredning er kraftig angrepet av korrosjon og går i brudd (f.eks. som følge av mekanisk belastning fra husdyr) kan det oppstå skarpe kanter som dyr kan skade seg på. Slike ulykker kan i stor grad unngås ved jevnlig kontroll av husdyrinnredningen og utskifting ved behov. Utskifting kan medføre betydelige kostnader.

Ved temperaturvariasjoner kan fuktighet i luften kondensere på kalde overflater. Kondensen vil kunne fungere som elektrolytt og tillate korrosjon på stålinnredning, selv på overflater som ikke er i kontakt med betong eller husdyrgjødsel. Det er sannsynlig at denne formen for elektrolytt har relativt høy resistivitet og trolig kan ikke dette alene være årsak til særdeles raske korrosjonsforløp på galvanisert innredning.

Kondensert vann på husdyrinnredning og andre metaller kan i kombinasjon med korrosive gasser, som ammoniakk og hydrogensulfid, danne etsende syrer som tærer på metallet. Sink er et utsatt metall for slike angrep, og når sinken på galvanisert stål tæres bort vil ikke det underliggende stålet lenger være beskyttet for andre korrosjonsangrep. Korrosive gasser har en tendens til å angripe hudvev og regnes som giftige. Tilstrekkelig luftutveksling må sikres for å unngå skadelige konsentrasjoner av slike gasser.

Armeringskorrosjon i husdyrbygg

Karbonatisering og kloridinntrengning i betongen bryter ned det beskyttende passivsjiktet på armeringsoverflaten og tillater initiering av korrosjon. Armeringskorrosjon fører til en direkte svekkelse av bæresystemet og anses som den mest alvorlige nedbrytningsmekanismen knyttet til korrosjon i husdyrbygg.

Skadeutvikling på innstøpt armering er vanskelig å observere før skadene blir betydelige og fører til riss i betongen eller avskallinger. Det finnes ikke-ødeleggende målemetoder for å anslå sannsynlighet for korrosjon og korrosjonshastighet. Det kreves en viss grad av kompetanse for å tolke måledata på riktig måte.

Kjemikalier fra husdyrgjødsel kan dessuten bryte ned betongen rundt armeringen. Dette vil ødelegge den naturlige beskyttelsen av armeringen og store skader kan på denne måten utvikles på relativt kort tid.

Skader på betong er mulig å utbedre, men det er viktig at reparasjoner utføres på riktig måte for å forhindre rask utvikling av nye skader.

Det er viktig at personer som utfører tilstandsanalyser av armert betong har tilstrekkelig kunnskap om skademekanismer, alvorligheten av nedbrytning, samt tiltaksvurdering. Ved inspeksjon av gjødselskjellere må kjelleren være tømt og ventilert, for å unngå innånding av giftige gasser.

Korrosjon som følge av lekkasjestrømmer

Denne typen nedbrytningsmekanisme er i teorien fullt mulig. Normal jordfeil på el-installasjoner kan gi lekkasje av vekselstrøm. Dette har et lavt skadepotensial i forhold til lekkasje av likestrøm. Forskjeller mellom IT/TN-nett er ikke undersøkt. Spesielt dårlig jording (eks. ringjord i drenerende masser) kan føre til at strømmen finner andre veier å gå hvor motstanden er lavere. Moderne jordfeilbrytere burde i de fleste tilfeller forhindre varige lekkasjestrømmer av denne typen.

Dersom jordtilkoblinger til andre ledende deler ikke er isolert og galvanisk korrosjon fører til brudd i kobberledere må eventuelle lekkasjestrømmer finne andre veier å gå. Om eneste vei til jord er via en elektrolytt, vil korrosjon kunne oppstå der strømmen vandrer over til en annen jordet del. I hvilken grad korrosjonsskader skyldes lekkasjestrømmer er ukjent, men dette anses ikke som en typisk nedbrytningsmekanisme for husdyrbygg og forårsaker trolig langt færre skader enn andre nedbrytningsmekanismer.