

1.0 ALMENNUR INNGANGUR

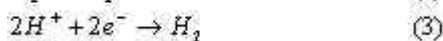
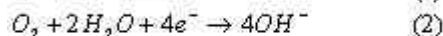
Blaðið fjallar fræðilega um tæringu málma og orsakir tæringar. Gerð er grein fyrir tæringarafbrigðum og umhverfisaðstæðum sem geta valdið tæringu. Gerð er grein fyrir kostum við tæringarvarnir og loks er yfirlit yfir tæringarrannsóknir hérlendis.

Blaðið er fyrra blað af tveimur og ætlað sem fræðilegur grunnur fyrir seinna blaðið sem mun fjalla um tæringar á hagnýtari hátt.

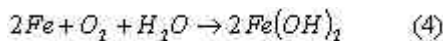
Markhópur þessa blaðs er því einkum tækni-menn og áhugaaðilar um tæringar á fræðilegum forsendum.

2.0 FRÆÐI

Tæring málma á sér stað þegar málur leysist upp í tærandi umhverfi. Málmjónir og rafeindir losna frá yfirborði málmens (jafna 1) og er það nefnt anóðuhvarf eða oxun og á sér stað á forskauti. Til að tæring geti orðið þarf katóðuhvarf (afoxun) að koma á móti sem tekur upp rafeindir sem losna (bakskaut). Algengustu katóðuhvörfin eru afoxun súrefnis (jafna 2) eða vetnisjóna (jafna 3).

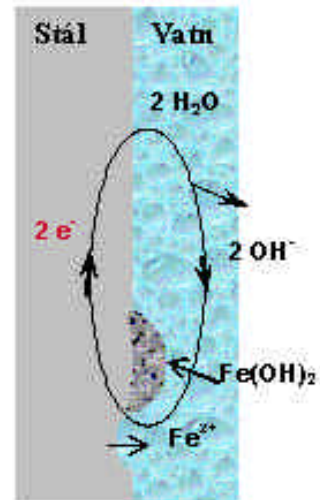


Með því að taka saman oxunar- og afoxunarhvarfið er hægt að lýsa tæringunni með efnajöfnu. Þannig er t.d. ryðmyndun lýst með jöfnu 4 og mynd 1.



Nernst-jafnan (jafna 5) gefur vísbendingar um hvort tæring á sér stað eða ekki. Hún reiknar út jafnvægis spennu (E^0) fyrir efnahvarfið og þegar spennan er hærri en jafnvægis spennan mun oxun eiga sér stað og þar með tæring. Tæring verður ekki þegar spennan er undir jafnvægis spennu.

$$E^0 = E_p + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \left(\frac{[Ox]}{[Re]} \right) \quad (5)$$



Mynd 1



Við tæringu járnslétt leysast upp járnjónir og rafeindir. Jónirnar leysast upp í vökvanum og rafeindirnar eru nýttar við afoxun súrefnis. Við þetta myndast ryð sem fellur út á yfirborðinu.

E^0 lýsir staðalspennunni sem er mismunandi frá einu efnahvarfi til annars. $[Ox]$ og $[Re]$ er mólstyrkur oxunarefna annars vegar og afoxunarefna hins vegar. R er gasfastinn (8,31 J/mól.K), F er Faraday-tala (96.500 C/mól) og n er fjöldi þeirra rafeinda sem taka þátt í efnahvarfinu.

Með því að reikna staðalspennu fyrir oxun mismunandi málma er hægt að fá upplýsingar um tilhneigingu þeirra til að tærast. Því hærri sem spennan er þeim mun minni hætta er á að málmurinn tærist. Í töflu 1 er búið að raða helstu málmum upp eftir staðalspennu. Efstu málmar í töflunni eru með hæstu staðalspennuna og hafa litla tilhneigingu til að tærast (eðalmálmar) og neðstu málmar í töflunni hafa ríka tilhneigingu til að tærast (fórnarmálmar).

Hægt er að notast við töflu 1 til að meta hættu á galvanískri tæringu. Þar sem tveir málmar liggja saman er alltaf hætta á tæringu. Sú hætta eykst ef mikill spennunur er á milli málmanna (þ.e. langt á milli þeirra í töflu 1).

Tafla 1 - Spennuröð málma. Efst eru málmar með háa staðalspennu sem hafa litla tilhneigingu til að tærast og eru nefndir eðalmálmar. Neðst eru málmar með ríka tilhneigingu til að tærast og eru nefndir fórnarmálmar.

Platína (Pt)	Eðal- málmar   Fórnar- málmar
Gull (Au)	
Títaíum (Ti)	
Silfur (Ag)	
Ryðfrítt stál	
Krómi (Cr)	
Brons (Cu - Sn)	
Eir (Cu)	
Látún (Cu - Zn)	
Tin (Sn)	
Blý (Pb)	
Járnsteypa (pottur)	
Stál (Fe)	
Heitsinkhúðað stál (galvanhúðað)	
Ál (Al)	
Sink (Zn)	
Magnesíum (Mg)	

3.0 TÆRINGARAFBRIGÐI

Ástæður og útlit tæringar getur verið mismunandi undir ólíkum kringumstæðum. Mikilvægt er að gera sér grein fyrir ólíkum birtingarmyndum tæringar. Hér er gerð grein fyrir þeim helstu.

Jöfn tæring (general corrosion)

Tærandi þáttur umhverfisins hefur jafnan aðgang að öllu yfirborðinu þannig að þykktartap verður jafnt yfir yfirborðið. Jöfn tæring veldur sjaldnast alvarlegum vandamálum svo sem gegnumtæringu og það er jafnvel hægt að gera ráð fyrir jafnri tæringu við hönnun, t.d. sem hluta af líftíma.

Algengt er að tæringarafurðir (t.d. ryð) safnist upp og er tæringin þá sýnileg. Í öðrum tilfellum skolast afurðirnar í burtu og tæringin er ekki sýnileg. Sumir málmar (t.d. ryðfrítt stál og ál) tærast hratt en mynda við það sterka og þétta varnarhúð sem ver málminn áframhaldandi tæringu.

Galvanísk tæring (galvanic corrosion)

Galvanísk tæring verður þegar tveir ólíkir málmar snertast og umhverfi þeirra er leiðandi. Það sem rekur galvaníska tæringu áfram er spennunur á milli málma (sjá töflu 1) en ytri aðstæður eins og leiðni vökvans, sýrustig, hitastig og stærðarhlutfall milli for- og bakskauts hafa áhrif á tæringarhraðann.

Forskautið (fórnarmálmurinn) er sá málmur sem er neðar í spennuröðinni og tærast á kostnað þess máls sem er ofar í spennuröðinni (bakskaut, eðalmálmur). Sé ekki hægt að útiloka snertingu ólíkra málma, verður að velja saman málma sem eru nálægt hvorum öðrum í spennuröðinni til að minnka líkur á galvanískri tæringu.

Leiðni vökvans er háð t.d. rakastigi og uppleystum efnum (svo sem seltu). Rafleiðni vökvans er mikilvægur þáttur í galvanískri tæringu og tæringarvandamál eru lítil sem engin í hreinu vatni. Lækkun sýrustigs og hækkun hitastigs veldur auknum tæringarhraða.



MYND 2

Dæmi um galvaníska tæringu á stálröri sem tengist koparröri. Stálrörið er ónýtt og útfellingar hafa safnast upp en koparrörið er óskemmt.

Til að koma í veg fyrir galvaníska tæringu er fyrsta skrefið að forðast að nota ólíka málma skv. spennuröð (tafla 1). Sé það óumflýjanlegt ber að einangra þá hvorn frá öðrum eða hafa flatarmál forskautsins

(fórnarmálsins) stórt miðað við flatarmál bakskautsins (eðalmálsins). Önnur lausn er að hafa forskautið þykkara eða útskiptanlegt. Það kemur ekki í veg fyrir tæringu en getur komið í veg fyrir skaða af hennar völdum.

Hægt er að koma í veg fyrir galvaníska tæringu með því að húða málminn, t.d. með málningu. Til þess að sú aðferð virki sem best þarf að húða eðalmálminn en ekki fórnarmálminn. Með því að húða eðalmálminn er katóðuyfirborðið minnkað og þar með er minni tilhneiging til galvanískrar tæringar. Jafnvel þó að yfirborð húðarinnar rofni þá veldur það ekki miklum tæringarvandamálum. Sé fórnarmálmurinn húðaður eykur það hættuna á tæringarvandamálum því komi gat á húðina verður tæringarhraðinn í rifunni mjög mikill miðað við jafna tæringu undir sömu kringumstæðum.

Jafnvel þó að það sé ekki bein snerting á milli málma geta uppleystar málmagnir frá öðrum málminum fallið út á yfirborð hins og valdið galvanískri tæringu sem getur leitt af sér pytt. Því þarf straumstefna vatnsins að liggja frá fórnarmálminum yfir í eðalmálminn til að koma í veg fyrir það.

Rifutæring (crevice corrosion)

Rifa getur myndast þar sem hluti af yfirborði málsins er hulinn t.d. undir tengingum (skrúfu, bolta, skinnu), óhreinindum eða útfellingum. Rifan myndar forskautið og málmurinn rétt utan við rifuna bakskautið. Yfirleitt eru for- og bakskaut hlutar af sama málminum en ef rifa myndast milli ólíkra málma geta áhrif vegna galvanískrar tæringar bæst við. Dæmi um tæringu sem orðið hefur undir skinnu má sjá á mynd 3.

Umhverfið inni í rifunni verður ólíkt umhverfinu fyrir utan rifuna. Umhverfið inni nær t.d. ekki að þorna á meðan umhverfið fyrir utan er þurr. Þar sem vökví er sífellt til staðar tærist málmurinn inni í rifunni t.d. vegna mismunandi styrks súrefnis eða

klórjóna (e. differential aeration cell/chloride concentration cell).



Mynd 3

Rifa hefur myndast undir skinnu og málmurinn tærist einungis þar. Vökvinn nær ekki að þorna í rifunni eftir að yfirborðið er orðið þurr og því viðhelst tæring undir skinnunni.

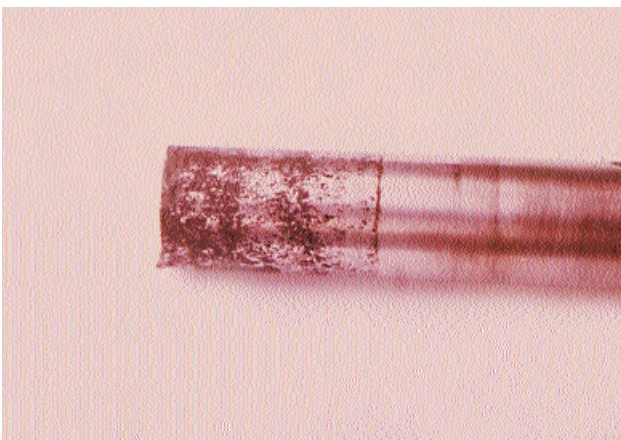
Þegar uppleyst súrefni er til staðar í vökvánum myndast oxíðhúð sem ver málminn fyrir tæringu. Í rifunni nær vökvinn ekki að endurnýja sig og súrefnið eyðist. Þá fer að ganga á oxíðhúðina og hún missir verndandi hlutverk sitt. Þegar málmurinn tærist eykst styrkur málmjóna (M^+) í rifunni og þær draga neikvætt hlaðnar agnir, svo sem Cl^- , að sér. Við það lækkar sýrustigið og umhverfið inni í rifunni verður mjög tærandi. Lágt sýrustig og hátt hlutfall flatarmáls bakskautsins gerir það að verkum að staðbundin tæring inni í rifunni getur verið mjög hröð.

Pyttatæring (pitting)

Pyttatæring á sér stað á yfirborði sem er annars tæringarþolið. Þetta á t.d. við um málma sem mynda varnarlag svo sem ryðfrítt stál eða ál og málmsmíð er að húða. Þessi tegund tæringar getur verið mjög hættuleg þar sem forskautið (pytturinn) er mjög lítið miðað við bakskautið (yfirborð málsins fyrir utan pyttinn) og gegnumtæring getur átt sér stað á tiltölu-

lega skömmum tíma og valdið miklu tjóni. Auk þess er erfitt að sjá pyttatæringu fyrir eða gera ráð fyrir henni við hönnun þar sem ekki er hægt að spá fyrir um hvort eða hvar pyttir fara að myndast.

Oft getur reynst erfitt að sjá sjálfan pyttinn berum augum en helsta merki um pytt er uppbygging af útfellingum (t.d. ryði) við pyttinn. Málmurinn undir útfellingunni getur auk þess farið að tærast rifutæringu.



Mynd 4

Hér hafa pyttir myndast á ryðfríu stáli vegna niðurbrots á varnarlaginu. Varnarlagið getur skemmst t.d. vegna núnings eða áhrifa klórjóna.

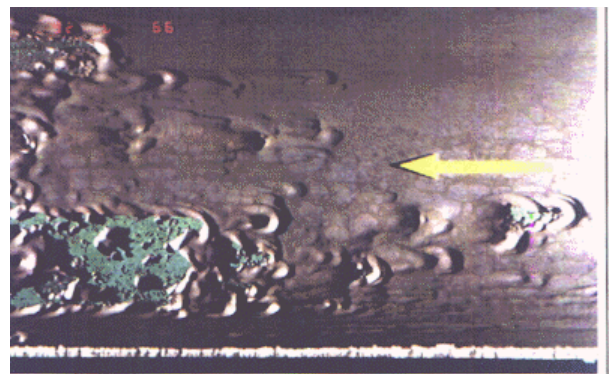
Til að leggja mat á umfang pyttatæringar er hægt að nota pyttastuðul, p/d , þar sem p er mesta dýpt og d er meðaldýpt pytta á tæringarplötu (t.d. þyngdartapsprufu). Sé pyttastuðull nálægt einum er um jafna tæringu að ræða en sé tæringin að jafnaði jöfn með fáum djúpum pyttum getur pyttastuðullinn stefnt á óendanlegt.

Ekki ná allir pyttir að vaxa og tærast í gegnum málminn. Flestir pyttir hætta að vaxa og verða óvirkir (e. repassivate) þegar straumrásin milli fram- og bakskauts rofnar, þ.e. þegar katóðuhvarfið getur ekki lengur tekið á móti rafeindum sem losna í anóðuhvarfinu. Þetta getur t.d. gerst vegna útfellinga eða skorts á súrefni (eða öðru því efni sem tekur þátt í katóðuhvarfinu).

Álagstæring

Álagstæring er samheiti yfir ýmis tæringarafbrigði sem eiga það sameiginlegt að eiga sér stað undir álagi frá umhverfinu. Birtingarmynd álagsins getur verið mismunandi en það veikir málminn og gerir hann viðkvæmari fyrir tæringu.

Ólgutæring (erosion corrosion) á sér stað þegar rennsli vökvans verður kvikt (e. turbulence) og hvirflar í streyminu ganga á varnarlag málsins þannig að óvarinn málmurinn þar undir tærast (sjá mynd 5). Hægt er að þekkja ólgutæringu á því að hún er stefnuháð (snýr undan flæðinu). Ólgutæringar verður helst vart í mjúkum málmum, svo sem eir. Til að koma í veg fyrir ólgutæringu þarf að forðast kvikt streymi, t.d. með að halda rennsli hægu (undir 2 m/s) og forðast ójöfnur í rörum (t.d. við tengingu röra).



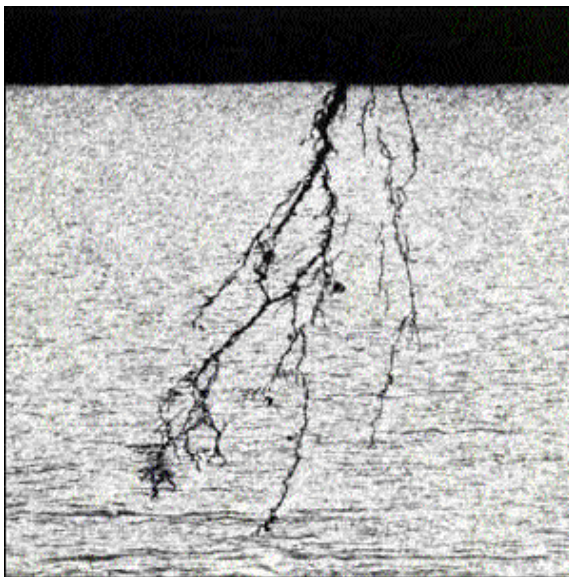
Mynd 5

Í þessu tilfalli varð ólgutæring í eirröri vegna mikils rennslishraða (> 3 m/s). Örin sýnir straumstefnu.

Núningur (corrosive wear) getur líka orðið til þess að varnarlag veikist og málmurinn standi eftir óvarinn. Þetta gerist á efstu punktum yfirborðsins og það eru þeir sem tærast þannig að útlit málsins getur verið doppótt eða ójafnt.

Sprungutæring (stress corrosion cracking) á sér stað þegar málmur undir stöðugu togálagi í tærandi umhverfi byrjar að tær-

ast og stökk sprunga myndast í kjölfarið (sjá mynd 6). Punkturinn þar sem tæringin byrjar verður þá veikur punktur á yfirborðinu sem leiðir til sprungumyndunar. Sprungutæring á sér oftast stað í málmblöndum (frekar en hreinum málmum) og þá við ákveðin umhverfisskilyrði, svo sem hátt sýrustig og óheppilega efnasamsetningu (ætandi (NaOH), ammóníu, brennisteinssambönd, klór ofl.) eða hátt hitastig. Hvaða skilyrði geta leitt til sprungutæringar er háð þeim málm sem um ræðir nefna má t.d. stál í ætandi umhverfi, eirblöndur í ammoníu og ryðfrítt stál í klór. Sprungutæring er þekkt vandamál þar sem hástyrktarmálmur eru mikið notaðir, svo sem í flugvélum.



Mynd 6

Myndin sýnir sprungu í gröfnu röri úr ryðfríu stáli. Rörið byrjar að tærast vegna klórjóna í umhverfinu og þar sem rörið er undir togálagi byrjar sprungumyndun í kjölfarið.

Preytutæringu (corrosion fatigue) svipar mjög til sprungutæringar en á sér stað í málmum sem er undir sveifluálagi. Þessi gerð tæringar tekur þó lengri tíma auk þess sem hún er efnisfræðilega nokkuð frábrugðin.

Valtæring (dealloying, dezincification, selective attack)

Valtæring á sér stað í málmblöndu (melmum), þar sem tveir eða fleiri málmur eru til

staðar í blöndunni. Málmarnir eru misviðkvæmir fyrir tæringu og nokkur spennunur getur verið á þeim. Þetta er þekkt í eirmelmum, t.d. látúni (messing), sem er blanda af kopar og sinki, og er þá kallað afsinkun enda er sinkið viðkvæmt gagnvart kopar (mikill spennunur). Við afsinkun tapar látúnið þeim mekanísku eiginleikum sem sóst er eftir (t.d. styrk) og eftir stendur gljúp koparbygging.

Valtæring getur líka átt sér stað við íblöndun efna sem eru ekki málmur, t.d. kolefnis í steypujárn. Þá getur járníð tærst burtu en form hlutarins heldur sér en er veikt og gljúpt. Þetta ástand er t.d. þekkt í gröfnum lögnum úr steypujárni og tekur langan tíma (áratugi).

Kornamarkatæring

Íblöndunarefnum er bætt í málma til að ná fram ákveðnum eiginleikum (t.d. auknum styrk eða tæringarþoli). Þessi efni sem og óhreinindi í málminum geta dreifst ójafnt um málminn og annaðhvort safnast saman á kornamörkum eða ekki verið til staðar þar. Þetta getur dregið úr tæringarþoli á kornamörkum. Vandamál vegna þessa eru helst í málmblöndum (ekki hreinum málmum). Sem dæmi má nefna ryðfrítt stál, en við hitameðhöndlun (t.d. málmsuðu) getur króm bundist kolefni og það fallið út við kornamörk. Ef ekkert króm er til staðar þá missir þá ryðfría stálið tæringarþol (í þessu tilfalli á kornamörkum).

4.0 TÆRING OG UMHVEFISAÐSTÆÐUR

Hvernig og hvort tæring þróast út í skemmd á efninu er að miklu leyti undir umhverfisþáttum komið. Efnisval verður að miðast við það umhverfi sem um ræðir.

Vatn

Í vatni eru ýmsir þættir sem hafa áhrif á tæringu, t.d. sýrustig, uppleyst súrefni, harka, hátt hitastig og sölt.

Í vatni fer katóðuhvarfið eftir sýrustigi. Við pH > 4 stjórnast tæringin af afoxun súrefnis (jafna 2) en við lægra pH af vetnismyndun (jafna 3). Sýrustigið hefur líka áhrif á það varnarlag sem myndast á yfirborði málm-sins. Fyrir járn myndast t.d. tiltölulega laus og lek járnoxíðhúð á bilinu pH 4-10 en við hærra sýrustig (pH 10-14) myndast þéttari húð. Við mjög lágt sýrustig (pH < 4) myndast svo engin húð og járneð tærist óhindrað. Svipað gerist hjá öðrum málmmum en við önnur gildi á sýrustigi.

Uppleyst súrefni er einn helsti tæringarvaldur í vatni. Í sumum tilfellum er það þó til bóta þar sem málmurinn nær mjög fljótt að mynda sterka varnarhúð (oxíðhúð) sem ver hann gegn frekari tæringu. Þessi varnarhúð heldur svo lengi sem ekki er uppleyst súrefni til staðar í vatninu og spennunur við yfirborðið eykst ekki. Sé uppleyst súrefni ekki til staðar í vatninu þá á katóðuhvarfið í jöfnu 2 sér ekki stað og tæringarvandamál verða því ekki (sé öðrum tærandi þáttum ekki fyrir að fara).

Önnur uppleyst gös en súrefni geta líka haft áhrif á tæringu, svo sem klór og ammónía, sem hafa sérstaklega slæm áhrif á eirmelmi og koltvísýringur, sem hefur áhrif á sýrustig, útfellingar o.fl.

Harka vatns er mælikvarði á uppleyst steinefni (aðallega kalsíum og magnesíum) í vatninu. Aukin harka vatns eykur tæringarþol með myndun verndandi kalsíum-karbónatlags [CaCO₃].

Þumalputtareglan er sú að tæring eykst með hækkandi hitastigi. Það eru hins vegar til undantekningar á þessari reglu. Við hærra hitastig aukast líka útfellingar sem geta haft verndandi áhrif á málminn. Leysni súrefnis minnkar og því minnkar drifkraftur fyrir tæringu. Það á reyndar sérstaklega við um opin kerfi.

Klór í vatni eykur tæringu með því að auka leiðni vökvans og auðvelda þannig flutning jóna og rafeinda til og frá yfirborði málm-sins.

Brennisteinn

Mörg brennisteinssambönd eru til í náttúrunni og hafa þau mismunandi áhrif á tæringu. Það brennisteinssamband sem er hvað mest tærandi er súlfíð. Í jarðhitavatni er að finna talsvert magn af brennisteinsvetni (H₂S) sem gefur af sér súlfíðjónir (S²⁻). Súlfíð hefur sérstaklega skaðleg áhrif í súrum kerfum en í basískum kerfum, eins og jarðhitakerfum, eru áhrif þess mun minni. Í svörtu stáli, eins og algengast er að nota í hitaveitukerfum, gengur súlfíð í efnasamband við yfirborðið og myndar járn-súlfíðhúð. Þessi húð er tiltölulega veik og brotnar auðveldlega niður sé til staðar uppleyst súrefni sem ýtir undir staðbundna tæringu (t.d. rifutæringu eða pyttatæringu). Undir venjulegum kringumstæðum er uppleyst súrefni ekki til staðar í jarðhitavatni og tæringarhraði í lágmarki (ca. 1 µm/ári). Örlítið magn af uppleystu súrefni eykur tæringarhraðann margfalt.

Eirmelmi eru sérstaklega viðkvæm fyrir súlfíði, þar sem koparsúlfíð myndar mjög veika koparsúlfíðhúð (CuS) á yfirborðinu. Eir er sérstaklega viðkvæmur gagnvart ólgutæringu í brennisteinsríku umhverfi og því þarf sérstaklega að huga að því að halda rennslinu jöfnu í slíku umhverfi.

Gerlar

Ákveðnir gerlar í vatni eða jarðvegi geta skapað tærandi umhverfi. Þeir gerlar sem mest áhrif hafa eru loftfirrtir gerlar sem breyta sulfati í súlfíð. Súlfat hefur ekki tærandi áhrif á málminn en súlfíð getur valdið tæringu. Gerlarnir eru ekki jafndreifðir á yfirborði málm-sins og valda því staðbundinni tæringu. Mest er hætta á

tæringu vegna gerla þar sem uppleyst súrefni er ekki til staðar og þar sem lítil sem engin hreyfing er á vökvanum. Ennfremur geta lífræn efni, notuð í tæringarvarnir, verið fæðuuppspretta fyrir gerlagróður.

Jarðvegur

Málmur sem grafinn er í jörðu getur tærst, jafnvel þótt að aðgengi súrefnis sé lítið sem ekkert. Þeir þættir sem hafa helst áhrif á tæringu í jarðvegi eru raki, selta, lágt sýrustig og gerlar. Gerlarnir hafa sérstaklega mikil tærandi áhrif í loftfirrtum aðstæðum. Kornastærð hefur mikil áhrif, tæringarhraði er meiri í leirríkum jarðvegi, þar sem frárennsli er lítið, en í sandríkum jarðvegi eða möl.

Steinsteypa

Steinsteypa er basísk og veitir ágæta vörn gegn tæringu í byrjun en þegar vatn kemst inn að bendistálinu dregur það úr vörninni og það fer að tærast. Útfellingar (ryð) safnast upp og þrýsta á steypuna sem getur valdið því að hún byrjar að sprynga og missa styrk.

Til að koma í veg fyrir vandamál vegna tæringar í steinsteypu er mikilvægt að hamlar aðgengi súrefnis að bendistálinu. Stálið þarf að vera vel hulið og steypan einsleit (t.d. laus við glufur og tómarúm) og gljúp-leiki (e. porosity) í lágmarki. Við krítískar aðstæður er hægt að nota húðað bendistál, t.d. með sink- eða epoxý húð.

5.0 TÆRINGARVARNIR (EFNISVAL, MÁLNING, HÚÐUN, FÓRNARMÁLMUR, KATÓÐUVÖRN)

Tæring málma er nánast óumflýjanleg því það er í eðli málma að oxast (tærast). Tæringarvandamál eru hins vegar ekki óumflýjanleg. Með því að hafa skilning á ferlinu og aðstæðum er hægt að koma að mestu leyti í veg fyrir að tæring verði að vandamáli.

Ein einfaldasta tæringarvörnin er rétt efnisval. Með vali á efni sem hefur ekki tilhneigingu til að tærast í því umhverfi sem um ræðir má að miklu leyti koma í veg fyrir tæringarvandamál. Þannig er t.d. hægt að nota plastefni, ryðfrítt stál eða eðalmálma þar sem við á.

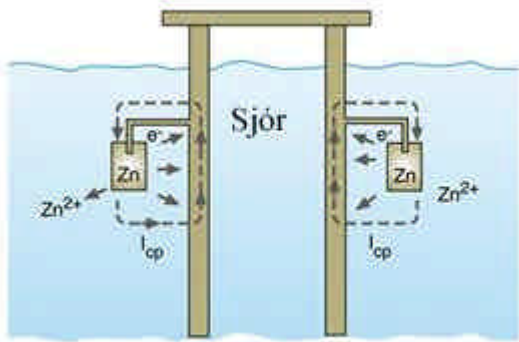
Einnig má gera ráð fyrir tæringunni við hönnun á hlutum og hafa hann t.d. þykkari en þörf er á, sem leyfir ákveðið þykktartap, þgæta þess að hafa þéttingar þar sem rifur geta myndast, komast hjá því að vatn geti safnast á ákveðna staði eða jafnvel hafa hluta sem mæðir mikið á útskiptanlega.

Ein leiðin til að verjast tæringu er að skýla yfirborði málmsins frá tærandi umhverfi með húðun. Algengast og einfaldast er að nota málningu en einnig er hægt að húða málminn með öðrum málm. Málning samanstendur af ýmsum efnum m.a. bindiefni og vökva. Vökvinn heldur málningunni á fljótandi formi þar til yfirborðið hefur verið húðað og gufar svo upp. Vökvinn, sem getur verið leysiefni eða vatn, tryggir því að málningin nái að húða yfirborðið vel og hvergi sjáist í beran málm. Bindiefnið tryggir endingu húðarinnar og getur verið af ýmsum toga. Sem dæmi um bindiefni má telja olíu (alkýð), akríl, vínyl og epoxý. Þessi efni þola misvel umhverfisaðstæður, svo sem mismunandi sýrustig, seltu eða mengun.

Til er málning blönduð með sinkdufti (95% m.v. þyngd). Þessi málning virkar best á járn og stál, sérstaklega í söltu umhverfi. Sinkið ver málminn aukalega og tærast frekar en járníð. Komi gat á málninguna tærast sinkið frekar en járníð og líkur á staðbundinni tæringu í járninu minnkar.

Katóðuvarnir eru mikið notaðar, sérstaklega fyrir stál og oft samfara öðrum vörnum, svo sem húðun. Vörnin virkar þannig að málmurinn er skautaður svo að tilhneiging til tæringar minnki (sjá jöfnu 5 og um-

fjöllun í kafla 1). Við það hægist á katóðuhvarfinu og þar með tæringunni. Hægt er að ná þessu fram með ýmsum hætti, t.d. með jafnstraumsgjafa sem tengdur er við málminn eða með fórnarmálmi (t.d. sinki, magnesíum eða áli, sjá mynd 7). Fórnarmálmurinn er þá annaðhvort í snertingu við málminn sem á að vernda eða tengdur honum með vír.



Mynd 7

Dæmi um katóðuvörn. Sinkkubbur er tengdur stálvirki í sjó og þannig að straumrás myndast milli sinksins og járnsins. Sinkið verjárnvirkið gegn tæringu og þarf að endurnýja kubbana reglulega, eftir því sem þeir eyðast.

5.0 TÆRINGARRANNSÓKNIR HÉRLENDIS

- Rannsóknarverkefnið „Tæring málna – Tæringarvarnir“ er í gangi á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins (Rb). Það er samstarfsverkefni á milli Rb, Almennu verkfræðistofunnar og Verkfræðipjónustu Péturs Sigurðssonar – með yfir 650 sýnishornum af málmplötum, bæði máluðum og ómáluðum hafa verið sett upp víðs vegar um land.

Nú þegar liggja fyrir niðurstöður eftir eins, þriggja og fimm ára prófanir. Tæringarhraðinn fyrir járn og sink lækkaði talsvert eftir þriggja ára prófun í flestum tilfellum og er munurinn allt að 50%. Ál hafði lítið sem ekkert tærst. Ennþá eru eftir sýni fyrir tíu ára prófun og er áætlað að verkefninu ljúki 2010. Verkefnisstjóri er Jón Sigurjónsson.

- Tæring eirmelma og lóðmálma í súlfíðríku hitaveituvatni var rannsökuð af dr. Ragnheiði I. Þórarinsdóttur. Prófaðar voru sex mismunandi eirblöndur, fjórar látúnblöndur, byssumálmur og brons, sem og hreinn kopar. Lóðmálmarnir voru átta talsins auk eirrörs. Prófunarstaðir voru fjórir í dreifikerfi Orkuveitu Reykjavíkur.

Niðurstaðan var sú að látúnsýnin tærðust afar lítið og engin afsinkun greindist. Tæringarhætta eykst með auknu koparinnihaldi og auknu súrefni. Eirrörin tærðust jafnri tæringu en ólgutæringar varð ekki vart. Eirríkari lóðmálmur var hættara við tæringu og valtæringar varð vart í eirríkum silfurlóðmálmi. Tæring var mismunandi eftir prófunarstöðum, sem skýrir mismunandi endingu eirröra í hitaveitukerfum.

- Kannaðar voru tæringarvarnir fyrir sinkhúðuð neysluvatnsrör og lauk þeirri rannsókn 1997. Aflað var upplýsinga um efni og aðferðir til að verja sinkhúðuð stálrör að innan og gerðar tilraunir með íblöndunarefni í vatni.

Prófað var fosfatefni og við notkun þess hvarf ryðlitur úr vatni. Bentu efna greiningar til þess að fosfatið náði ekki að verja málminn gegn áframhaldandi tæringu. Verkefnisstjóri var Ragnheiður I. Þórarindóttir og síðan Jón Sigurjónsson.

- Rannsókn á tæringu álsýna í hitaveitukerfum lauk árið 2002. Rannsóknin var framkvæmd á þremur stöðum í dreifikerfi Orkuveitu Reykjavíkur og hjá Selfossveitum. Gerður var samanburður á álsýnum og stálsýnum og einnig voru álofnar skoðaðir.

Tæringarhraði var mismunandi eftir stöðum en tæring áls var í öllum tilfellum hraðari en tæring stáls. Tæringarhraði var minnstur í Bolholti og á Selfossi en mun meiri í Öskjuhlíð og í Árbæ.

Ofnar sem skoðaðir voru gáfu til kynna að gæta þurfi varúðar við notkun álofna fyrir jarðhitavatn. Mikilvægt er að gæta þess að vatnið sé súrefnislaust og straumhraði ekki of mikill. Þá getur eir frá rörum eða tengistykkjum valdið pyttatæringu. Verkefnisstjóri var Ragnheiður I. Þórarinsdóttir.

- Rannsókn á tæringarmælingum á stáli í súlfíðríkum hitaveitukerfum stendur yfir. Nánari upplýsingar um tæringarmælingar er að finna í Rb-blaði „Rafefnafræðilegar tæringarmælingar“, Rb (53).011.

Tæringarhraði í hitaveitukerfum er í flestum tilfellum mjög lítill en um leið mjög háður uppleystu súrefni. Hefðbundnar tæringarmælingar (þyngdartapsprufur) eru tímafrekar og gefa aðeins upplýsingar um meðaltæringu yfir langt tímabil. Sítmælingar (on-line) hafa verið prófaðar. Mælingar sem byggjast á rafefnafræðilegum aðferðum eru aðgengilegar en henta illa fyrir súlfíðríkt vatn. Aðrar aðferðir, svo sem viðnámsmælingar koma betur út. Með sítmælingum er komin sjálfvirk, rauntímamæling á gæðum hitaveituvatnsins, en hingað til hefur slíkt gæðaefirlit farið fram handvirkt með ampúlumælingum á súrefni og súlfíði. Verkefnastjóri var Ragnheiður I. Þórarinsdóttir.

- Rannsókn á tæringu eirlagna í neysluvatnskerfum stendur yfir. Búið er að taka niður sýni eftir árs prófun en eftir er að taka niður sýni eftir tveggja og þriggja ára prófanir. Tilraunagrindur úr eir voru settar upp á Akureyri, í Borgarnesi, Búðahreppi, Grindavík, Reykjanesbæ, Reykjavík og Vestmannaeyjum.

Niðurstöður sýna mismunandi tæringarhraða eftir stöðum en þó aldrei meiri en 10 $\mu\text{m}/\text{ári}$. Mesta tæringin mælist þar sem sýrustigið er lægst (Búðahreppur) og minnsta tæringin í Vestmannaeyjum og Grindavík, þar sem magn útfellinga var mest.

Eirinnihald vatnsins auk sinks, blýs og nikkels var mælt og var í öllum tilfellum undir mörkum reglugerðar um neysluvatn nema í Búðahreppi. Verkefnisstjóri var fyrst Ragnheiður I. Þórarinsdóttir og síðan Jón Sigurjónsson.

6.0 HEIMILDASKRÁ OG ÍTAREFNI

- D.A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, 2nd ed., Pearson Education, 1996.
- Bartha, Stefan. Konstruktion och Korrosion, Bäcklunds Bokstryckeri Aktiebolag. Svedala 1998, Sverige.
- Corrosion of copper and Copper Alloys in Geothermal District Heating Water Containing Sulphide, (sérrit nr. 85). Útgefið 2001.
- Evaluation of EPDM, NBR and HNBR in Geothermal District Heating Water Containing Sulphide (sérrit nr. 86). Útgefið 2001.
- Lagnabekking – vitneskja – reynsla – umhverfi, (sérrit nr. 88). Útgefið 2002.
- Vatnstjónaáttak 2003 (sjá www.habygg.is), sérrit nr. 90. Útgefið 2004.

- Tæring og ryðmyndun í heitsink-húðuðum neysluvatnsrörum, (skýrsla nr. 01-11). Útgefið 2001.
- Tæring álsýna í hitaveitukerfum - lokaskýrsla, (skýrsla nr. 02-09). Útgefið 2002.
- Tæring eirlagna í neysluvatnskerfum – áfangaskýrsla 2, (skýrsla nr. 04-02). Útgefið 2004.
- ABSTRACTS 13. Scandinavian Corrosion Congress Reykjavik 17.-20. April 2004 – ráðstefnurit. Útgefið 2004.
- Monitoring Corrosion in District Heating System. Project Number: 00071 – final Report. Útgefið 2004.
- Rafefnafræðilegar tæringarmælingar, Rb (53)X.011. Rb-blað útgefið 2003.

Sonja Richter, verkfræðingur
tók Rb-blaðið saman.

Ráðgjöf:
Jón Sigurjónsson, verkfræðingur

Ritvinnsla og umbrot:
Sigrún Pétursdóttir.

Prentun:
Gutenberg ehf.

EFTIRPRENTUN ÓHEIMIL.