

Korozija metala u bioplinskom postrojenju

Nadarević, Mato

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:945431>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Mato Nadarević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Korozija metala u bioplinskom postrojenju

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Mato Nadarević

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Korozija metala u bioplinskom postrojenju

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Ivan Vidaković, mag.ing.mech.
2. Prof.dr.sc. Goran Heffer
3. Doc.dr.sc. Vjekoslav Tadić

Osijek, 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Završni rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Mato Nadarević

Korozija metala u bioplinskom postrojenju

Sažetak: Na temelju dostupnih izvora podataka i provedenog istraživanja na bioplinskom postrojenju za proizvodnju električne energije opisani su uzroci, vrste i oblici pojave korozije na metalnim dijelovima bioplinskog postrojenja. Navedena analiza provedena je na odabranim metalnim dijelovima bioplinskog postrojenja Hrastin u vlasništvu tvrtke „Mico” d.o.o.. Utvrđeno je kako na metalne dijelove bioplinskog postrojenja korozija djeluje vrlo štetno i zahtijeva kvalitetnu pripremu tijekom samog projektiranja postrojenja, povećanje troškova zbog odabira kvalitetnijih materijala, te troškova za zaštitu od korozije.

Ključne riječi: korozija, bioplin, bioplinsko postrojenje, korozija cjevovoda, zaštita od korozije

39 stranica, 2 tablice, 38 slika i grafova, 34 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta Agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta Agrobiotehničkih znanosti Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Jurja Strossmayer University in Osijek

BSc Thesis

Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek

Undergraduate university study Agriculture, course Mehanization

Mato Nadarević

Corrosion of metals in the biogas plant

Summary: On the basis of the available data sources and the conducted research at the biogas power plant, the causes, types and forms of corrosion on the metal parts of the biogas plant are described. The above analysis was performed on selected metal parts of the biogas plant Hrastin owned by the company "Mico" Ltd. It was found that the metal parts of the biogas plant corrosion is very harmful and requires quality preparation during the design of the plant, increasing costs due to the selection of better materials, and costs for corrosion protection.

Key words: corrosion, biogas, biogas plant, pipeline corrosion, corrosion protection

39 pages , 2 tables , 38 figures and charts, 34 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical sciences in Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical sciences in Osijek.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. BIOPLIN	3
2.1. Bioplinsko postrojenje „Hrastin”	5
3. KOROZIJA	9
3.1. Podjela korozije prema mehanizmu djelovanja	15
3.2. Podjela korozije prema mjestu nastajanja	17
3.3. Geometrijska podjela korozije	18
4. KOROZIJA U BIOPLINSKOM POSTROJENJU	22
4.1. Korozija bioplinskog cjevovoda	24
4.2. Korozija fermentora	26
4.3. Ostali oblici korozije u bioplinskom postrojenju	28
4.3.1. Kavitacijska korozija	28
4.3.2. Korozivno djelovanje sumporovodika (H_2S)	29
5. ZAŠTITA OD KOROZIJE	31
5.1. Elektrokemijske metode zaštite	32
5.2. Konstrukcijsko - tehnološke mjere	33
5.3. Zaštita promjenom okolnosti	34
5.4. Zaštita prevlakama	35
6. ZAKLJUČAK	36
7. POPIS LITERATURE	37

1. UVOD

Bioplin je kako navodi Špicnagel (2014.) mješavina plinova metana, ugljikovog dioksida, dušika, vodika i vodikovog sulfida. Nastaje procesom anaerobne digestije u kojem raznovrsni anaerobni mikroorganizmi u anaerobnim uvjetima (bez prisutnosti kisika) razlažu kompleksne organske spojeve do jednostavnijih elemenata. Završni proizvodi anaerobne digestije su bioplin - obnovljivi izvor energije koji ima široku lepezu mogućih primjena, te se može pretvoriti u električnu, toplinsku, mehaničku i elektromagnetsku energiju, te digestat - ostatak iz bioplinске proizvodnje koji se koristi kao gnojivo.

Stupnišek-Lisac (2007.) tvrdi kako je proces koji nezaustavljivo teče, čak i bez našeg utjecaja, i uzrokuje gubitke i štete na praktički svim materijalima poznat pod nazivom korozija. Od velike je važnosti poznavati procese koji dovode do korozije i pronaći puteve, ako već ne sprječavanja, onda barem usporavanja tog spontanog procesa. Za to je, naravno, nužno poznavati ne samo procese putem kojih se odvija korozija već i materijale koji su podložni tim procesima.



(Izvor: Mico d.o.o., 2018.)

Slika 1. Bioplinско postrojenje „Hrastin“

Bioplinско postrojenje „Hrastin“ (Slika 1.) je kogeneracijsko postrojenje za proizvodnju električne i toplinske energije iz bioplina. U postrojenju se proizvodi bioplin koji se koristi za daljnju proizvodnju električne i toplinske energije te digestat koji služi kao organsko gnojivo na poljoprivrednim površinama. (Izvor: <http://www.obz.hr>)

Cilj ovog završnog rada je analizirati uzroke nastanka korozije, te vrste korozije koje se pojavljuju u metalnim dijelovima bioplinskog postrojenja, i utvrditi djelotvorne metode zaštite od korozije, s ciljem sprječavanja ili smanjivanja troškova zbog korozijskog djelovanja.

2. BIOPLIN

Bioplin je zapaljivi plin proizveden biološkim procesima, odnosno procesom anaerobne razgradnje ili fermentacije na niskim temperaturama bez prisustva zraka. Bioplin sadrži 55 - 80 % metana (CH_4), 20 - 40% ugljikovog dioksida (CO_2), u tragovima sumporovodik (H_2S) i ostale primjese. Anaerobna fermentacija ili razgradnja je od iznimne važnosti, jer dolazi do proizvodnje bioplina iz biomase, koji može biti iskorišten u proizvodnji električne i toplinske energije uz manje emisije stakleničkih plinova i amonijaka NH_3 . (Brdarić i sur., 2009.)

Špicnagel (2014.) zaključuje kako je najvažniji i u najvećoj mjeri zastupljen plin metan (CH_4) koji ujedno daje i energetska vrijednost bioplinu. Sastav bioplina (Tablica 1.) je u velikoj mjeri određen sastavom supstrata, tijekom fermentacijske reakcije, operativnim parametrima i različitim tehničkim preduvjetima bioplinskog postrojenja.

Tablica 1. Kemijski sastav bioplina

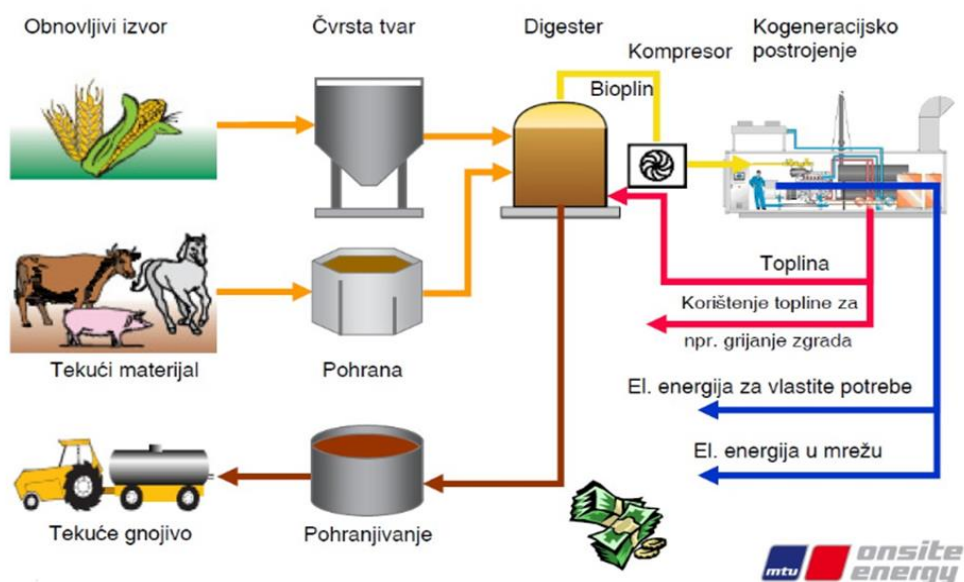
Spoj	Kemijski simbol	Udio (Vol.-%)
Metan	CH_4	50-75
Ugljikov dioksid	CO_2	25-45
Vodena para	H_2O	2(20°C)-7(40°C)
Kisik	O_2	<2
Dušik	N_2	<2
Amonijak	NH_3	<1
Vodik	H_2	<1
Sumporovodik	H_2S	<1

(Izvor: Al Seadi, 2009.)

Al Seadi i sur. (2009.) navode kako je prosječna toplinska vrijednost bioplina oko 21 MJ/Nm³, prosječna gustoća iznosi 1,22 kg/Nm³ (s 50% udjela metana), a težina je slična zraku (1,29 kg/Nm³). Za proizvodnju bioplina pogodan je svaki biorazgradivi materijal, te se mogu koristiti različite sirovine: stajski gnoj, gnojovka i gnojnica, žetveni ostatak, organski otpad iz mliječne industrije, organski otpad iz prehrambeno-prerađivačke industrije, organska frakcija mulja nastala pročišćavanjem otpadnih voda, organski otpad iz kućanstava i ugostiteljske djelatnosti, biljke proizvedene kao energetska nasadi i ostalo.

Postrojenje za proizvodnju bioplina ne proizvodi samo energiju, te se proizvodnja bioplina može dobro integrirati u konvencionalnu i ekološku poljoprivredu, gdje digestat zamjenjuje mineralna (umjetna) gnojiva, proizvedena uz veliki utrošak fosilnih goriva. Biomasa preostala nakon anaerobne razgradnje organske tvari predstavlja vrijedno gnojivo, bogato dušikom, fosforom, kalijem i mikro-nutrijentima. Za rasprostiranje po poljoprivrednoj površini može se koristiti ista mehanizacija koja se koristi za svježi stajski gnoj i gnojnicu. U usporedbi sa svježim stajskim gnojem, digestat ima znatno bolja gnojidbena svojstva zahvaljujući homogenosti i većoj hranidbenoj vrijednosti, boljem omjeru ugljika i dušika te gotovo potpunom nedostatku neugodnog mirisa. (Al Seadi i sur., 2009.)

Na slici 2. prikazan je zatvoreni krug održivog ciklusa proizvodnje bioplina.



(Izvor: Al Seadi i sur. 2009.)

Slika 2. Održivi ciklus proizvodnje bioplina

Tablica 2. Energetska učinkovitost primjene bioplina

Primjena	1m ³ bioplina
Rasvjeta	Žarulja 60W - 6 sati
Kuhanje	3 obroka za šesteročlanu obitelj
Gorivo	0,7l benzina

(Izvor: Glavaš, Ivanović, 2018.)

Tablica 2. prikazuje primjere energetske učinkovitosti i uštede uporabom bioplina.

Bioplinsko postrojenje je sustav u kojem se unutar prirodnog, zatvorenog, hranjivog kružnog toka daju integrirati sljedeći zadaci: odstranjivanje otpada, recikliranje, higijenzacija, opskrba energijom, opskrba gnojivom i proizvodnja humusa. (Krička i sur., 2009.)

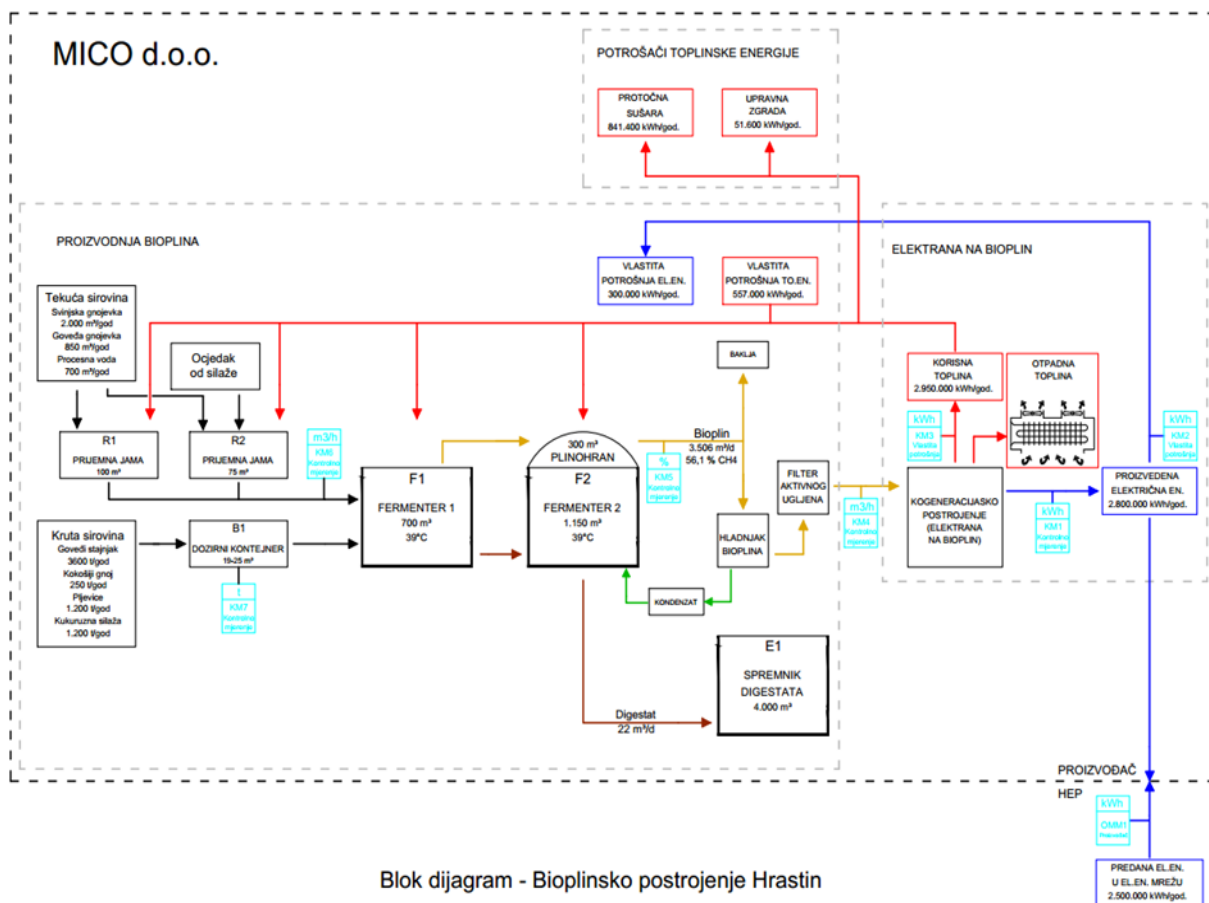
2.1. Bioplinsko postrojenje „Hrastin“

Djeluje od početka 2018. godine u Hrastinu, u vlasništvu tvrtke MICO d.o.o. iz Osijeka.

Kogeneracijska jedinica je nazivne električne snage od 355 kW, dok ukupna očekivana godišnja (bruto) proizvodnja električne energije iznosi oko 2.500.000 kWh. Kogeneracijska jedinica istodobno proizvodi i toplinsku energiju, snage 402 kWh, u očekivanoj količini od oko 2.950.000 kWh/god. Od toga se oko 300.000 kWh godišnje troši na unutarnje potrebe postrojenja.

Kao sirovina za proizvodnju bioplina koristi se biorazgradivi otpad iz poljoprivrednih kultura te organskih ostataka i otpada biljnog i životinjskog podrijetla: svinjska gnojovka, goveđa gnojovka, kokšiji gnoj, pljevice, kukuruzna silaža i dr.

Bioplinsko postrojenje Hrastin, prikazano na slici 3. sastoji se od prostora za prihvata i skladištenje sirovine, objekata za dobivanje bioplina procesom fermentacije (fermentori), objekta za smještaj upravljačke opreme i pumpne opreme, kogeneracijskog postrojenja za proizvodnju električne i toplinske energije iz bioplina, skladišta digestata, sušare, kolne vage i administrativne zgrade.



Blok dijagram - Bioplinsko postrojenje Hrastin

(Izvor: Mico d.o.o., 2018.)

Slika 4. Blok dijagram bioplinskog postrojenja Hrastin

Kako bi se što više iskoristio potencijal postrojenja napravljena je i sušara za koju se može iskoristiti do 450 kW toplinske energije koja se oslobađa sagorijevanjem plina. To je iskoristivo za niskotemperaturno sušenje travnatih smjesa (kamilica, lucerna, sjenaža itd.)

Proizvodnjom od 300 kWh svakog sata, ovo bioplinsko postrojenje električnom bi energijom moglo opskrbiti 150 domaćinstava koja bi, primjerice, mogla stalno trošiti dva kilovata na sat, što u praksi znači da bi moglo opskrbljivati energijom mnogo više kuća, gotovo cijelo jedno selo, pa i više. (Izvor: <http://www.glas-slavonije.hr>)

Sva bioplinska postrojenja susreću se s velikim problemom u vidu korozivnog djelovanja na cjevovode, spojeve, brtve i ostale metalne (Slika 5.) i nemetalne elemente postrojenja.



(Izvor: <http://www.leripa.com>)

Slika 5. Prikaz korozivnog djelovanja na lopatice mješača

Obanijesu i sur. (2010.) navode kako je korozija prepoznata kao glavni problem industrije cjevovoda (Slika 6.). Ona sama uzrokuje preko 50% kvarova na sustavima cjevovoda u svijetu, a ta industrijska grana troši godišnje milijarde dolara na godinu na njeno sprječavanje i popravke.



(Izvor: <https://hr.stuklopechat.com>)

Slika 6. Korozija cjevovoda

3. KOROZIJA

ASM International (2003.) navodi kako je riječ „korodirati“ izvedena iz latinske *corrodere*, što znači „lomiti na komadiće“. Opća definicija pojma „korodirati“ je „jesti ili istrošiti postupno“, odnosno pojava na materijalu kao da se „izjeda“.

Korozija je kemijska ili elektrokemijska reakcija između materijala, obično metala, i njegovog okoliša, koja uzrokuje propadanje materijala i njegovih svojstava. Proces uključuje elektrolitsko djelovanje, a stimuliraju ga supstance koje povisuju koncentraciju vodikovih iona (H^+), kao što su kiseline i soli određenih kiselina, a sprječavaju supstance koje povisuju u hidroksidne ione (OH^-). Korozija može također biti uzrokovana ili pospješena aktivnošću mikroorganizama, koji žive u ili na stjenki cijevi. (Obanijesu i sur., 2010.)

Prema Adamoviću i Jevtiću (1988.) korozija je razaranje materijala kemijskom ili elektrokemijskom reakcijom s okolinom. Za nastajanje elektrokorozijske neophodno je da prvo dođe do stvaranja elektrolita, dok se kod kemijske korozije radi o reakciji metala s tekućinama ili plinovima.



(Izvor: Jelić Mrčelić, 2010.)

Slika 7. Shema posljedica djelovanja korozije

Juraga i sur. (2012.) navode kako je korozija danas jedan od važnih čimbenika svjetske krize materijala i energije, i uzrok je znatnih gubitaka (Slika 7.) u gospodarstvu svake zemlje. Prema istraživanjima 2003. godine u SAD-u direktni troškovi korozije iznose: 3.1% BDP-a, 276 milijardi US \$, što je 1000 US \$ godišnje po stanovniku.

Prema istraživanjima 2003. godine u SAD-u :

Direktni troškovi izazvani korozijom:

- zamjena korodirane opreme,
- održavanje i provođenje zaštite.

Indirektni troškovi izazvani korozijom:

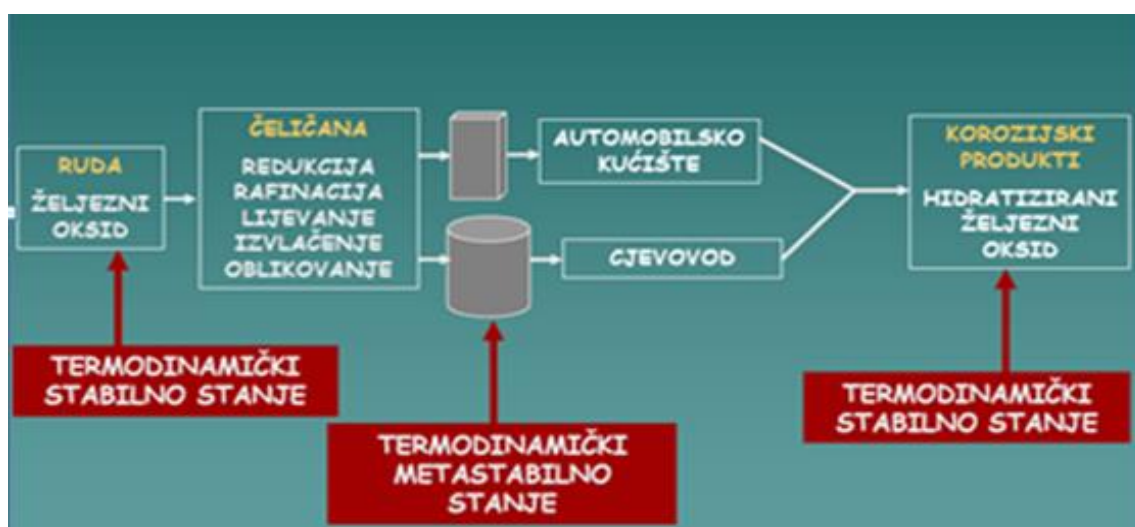
- zaustavljanje proizvodnje / pogona,
- gubitak proizvoda (curenje iz tankova i cjevovoda),
- smanjenje stupnja iskoristivosti – efikasnosti,
- onečišćenje / kontaminacija proizvoda i okoliša. (Juraga i sur., 2012.)

Troškovi korozije prema metodama zaštite:

Zaštitni premazi	108.6 milijardi \$;
Korozijski otporne legure	7.7 milijardi \$;
Plastika i polimeri	1.8 milijardi \$;
Korozijski inhibitori	1.1 milijardi \$;
Katodna i anodna zaštita	1.0 milijardi \$;
Troškovi usluga	1.2 milijardi \$;
UKUPNO:	121.4 milijardi \$. (Juraga i sur., 2012.)

Stupšinek - Lisac (2007.) navodi brojne uzroke nastanka korozije metala:

1. Materijal - kontakt različitih materijala ili komponenata čvrste otopine, uključujući i nepravilnosti u metalu, segregacija na granici zrna metala,
2. Okoliš - koncentracijski gradijenti, temperaturni gradijenti, prisutnost kloridnih ili drugih agresivnih iona, velika brzina protoka, prisutnost adsorbiranog vodika na metalu, prisutnost pukotina, rupa, nakupina i sl.,
3. Mehanički uzroci - statičko naprezanje i fluktuirajuće naprezanje.



(Izvor: Jelić Mrčelić, 2014.)

Slika 8. Termodinamički uzrok odvijanja korozije

Većina metala postoji u prirodi u vezanom stanju (u obliku spojeva). Njihove rude ili prirodni spojevi moraju se podvrgnuti pirometalurškim postupcima i procesima kemijske rafinacije koji zahtjevaju dodavanje energije da bi se rude dovele do metalnog stanja. Metalno stanje predstavlja stanje koje sadrži visoku energiju. Prirodna težnja metala je spojiti se s drugim tvarima i oslobađanjem energije vratiti se u stanje niže energije. Ovo smanjivanje slobodne energije je pokretačka sila korozivskih reakcija. Dakle, spontana kemijska reakcija ide uz oslobađanje energije za razliku od onih reakcija u kojima treba uložiti energiju – one se ne događaju spontano (Slika 8.). (Jelić Mrčelić, 2014.)

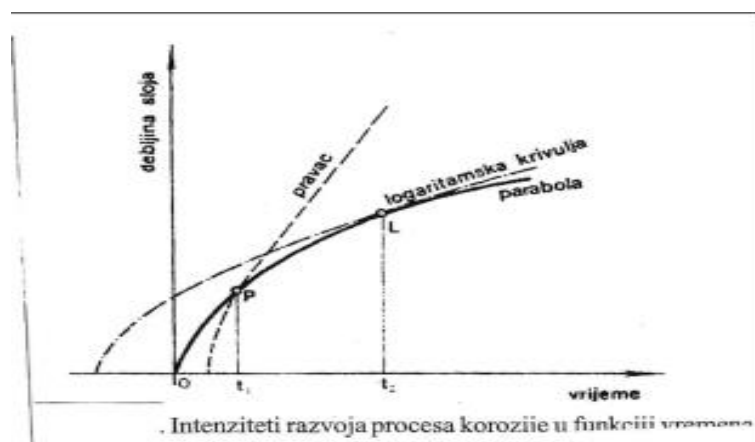
Visoka vlažnost zraka pogoduje brzini korozije. Vлага djeluje kao otapalo za kisik, druge plinove i soli, pa tako nastaje elektrolit za galvanске članke. Povišenje temperature veće od onog potrebnog za smanjenje vlažnosti zraka ubrzava koroziju. (Izvor: <https://edutorij.e-skole.hr>)



(Izvor: Alar, 2015.)

Slika 9. Opća korozija čeličnog rasvjetnog stupa: A-površina materijala prije korozije, B-površina materijala nakon korozije, M-materijal

Martinez (2006.) zaključuje kako brzina nastajanja korozije ovisi o termodinamičkim i kinetičkim uvjetima, odnosno o unutarnjim i vanjskim činiteljima. Unutarnji činitelji – sastav materijala, defekti u kristalnoj rešetki, zaostala mehanička naprezanje (nakon oblikovanja deformiranjem i dr.), stanje površine, oblik predmeta (Slika 9.). Vanjski činitelji – sastav okolnog medija, čistoća medija, brzina i turbulencija gibanja medija, temperatura, tlak, kontakt s drugim materijalima, mehanička opterećenja, izloženost zračenju. Navedeni činitelji utječu na pokretačku silu korozije i na otpore koji se suprotstavljaju toj sili. Korozija je skoro uvijek spontan proces, čija je pokretačka sila kemijski afinitet između tvari u materijalu i mediju.



(Izvor: Jelić Mrčelić, 2014.)

Slika 10. Intenzitet razvoja procesa korozije u funkciji vremena

Jelić Mrčelić, (2014.) zaključuje kako je empirijski utvrđeno da se intenzitet odvijanja procesa korozije najčešće odvija po logaritamskoj krivulji, a rjeđe linearno ili po paraboličnoj krivulji. Neovisno po kojoj se krivlji proces korozije razvija, on će se intenzivirati povišenjem temperature (Slika 10.).

Božić i Radojević (2008.) navode kako metali uslijed djelovanja korozije trpe fizičko-kemijske promjene koje im bitno umanjuju čvrstoću, oblik, dimenzije i izgled. Posljedice mogu biti vrlo različite, ovisno od vrste korozije, je li površinska (Slika 11.) ili dubinska, i zahvaćenosti - je li zahvatila samo dio površine (lokalna) ili cijelu površinu (ravnomjerna). U ovisnosti od toga, promjene na materijalu mogu biti takve da dio zahvaćen korozijom ne gubi funkcionalnost, ali i takve da dovode do loma i iznenadnih otkaza sa velikim materijalnim štetama, ozljedama ljudi i ljudskim žrtvama.



(Izvor: autor)

Slika 11. Površinska korozija elektromotora izloženog vanjskim utjecajima

Načelno, korozijske procese moguće je podijeliti prema mehanizmu procesa korozije i prema obliku korozije. Pojava korozije moguća je kod metalnih i nemetalnih konstrukcijskih materijala, pa se i korozija može podijeliti na koroziju metala i koroziju nemetala (Slika 12.). (Martinez 2006.)



(Izvor: <https://hr.blog-oremonte.ru>)

Slika 12. Korozija betona

Korozija se prema Obanijesu i sur. (2011.) općenito može podijeliti u 3 glavne kategorije, dok korozija nastala aktivnostima mikroorganizama može biti četvrta grupa. Prva grupa spada u onu koja se jednostavno može prepoznati vizualnim pregledom, a uključuje ravnomjernu koroziju (Slika 13.), lokalnu koroziju i galvansku koroziju. Druga grupa uključuje korozije koje zahtijevaju detaljnije ispitivanje pa tu spadaju: erozijska korozija, kavitacijska korozija, korozija nastala usred trenja (ove tri se klasificiraju kao brzinske korozije), integranularna korozija i selektivna korozija, dok u treću grupu spadaju one korozije koje se mogu potvrditi samo korištenjem mikroskopa u što spadaju pukotinska i visokotemperaturna korozija. Uz ove tri opće grupe, postoji još jedna vrsta, a to je korozija uzrokovana ionima vodika.

Podjela korozije prema Alar (2015.):

- opća korozija,
- galvanska korozija,
- korozija u procijepu,
- rupičasta (pitting) korozija,
- interkristalna korozija,
- selektivna korozija,
- erozijska korozija,
- napetosna korozija.



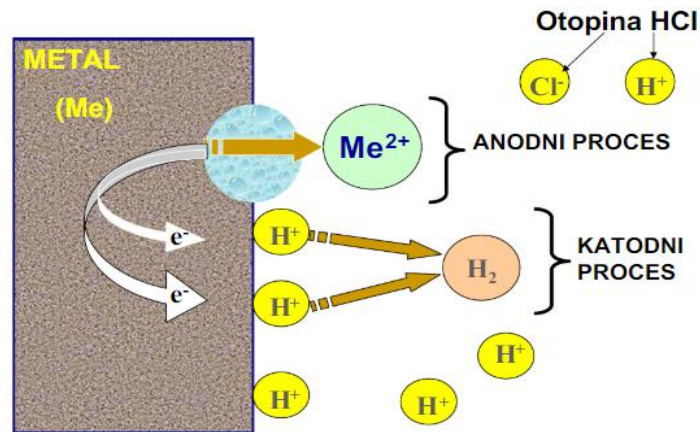
(Izvor: autor)

Slika 13. Ravnomjerna korozija na izlaznoj cijevi za odvoz digestata

3.1. Podjela korozije prema mehanizmu djelovanja

Za metalne materijale, proces korozije je ili kemijski ili elektrokemijski. Elektrokemijski proces uključuje prijelaz elektrona iz jedne kemijske vrste u drugu. Atomi metala gube ili predaju elektrone kroz reakciju oksidacije, koja se odvija na anodi ili reakciju redukcije, koja se odvija na katodi. Dok korozija kemijskom reakcijom ne uključuje transfer elektrona. U tom slučaju, metal napada razrijeđena kiselina (npr. HCl) pa se oslobađa vodik. (Obanijesu i sur. 2010.)

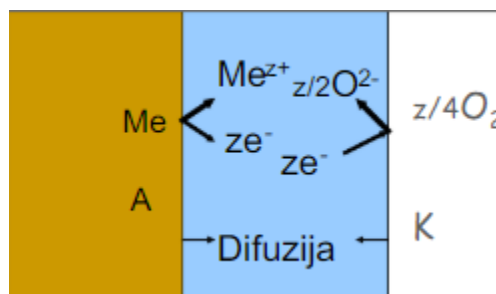
Elektrokemijska korozija (Slika 14.) se javlja na metalima i legurama u dodiru s elektrolitima kao što su voda i vodene otopine kiselina, lužina i soli, pri čemu se odvijaju reakcije oksidacije i redukcije. (Juraga i sur., 2012.)



(Izvor: Juraga i sur., 2012.)

Slika 14. Elektrokemijska korozija (anodni i katodni proces)

Juraga i sur. (2012.) navode kako se kemijska korozija (Slika 15.) zbiva u neelektrolitima, tj. u medijima koji ne provode el. struju. Može biti spajanjem metala s kisikom iz vrućih plinova (O, Cl, S, N), a to se najčešće zbiva pri radu uređaja na visokim temperaturama (zavarivanju, toplinskoj obradi itd.) ili korozija kod metala i legura u neelektrolitima kao što su organske tvari (npr. razaranje metala u nafti pod utjecajem sumpora ili njegovih spojeva).



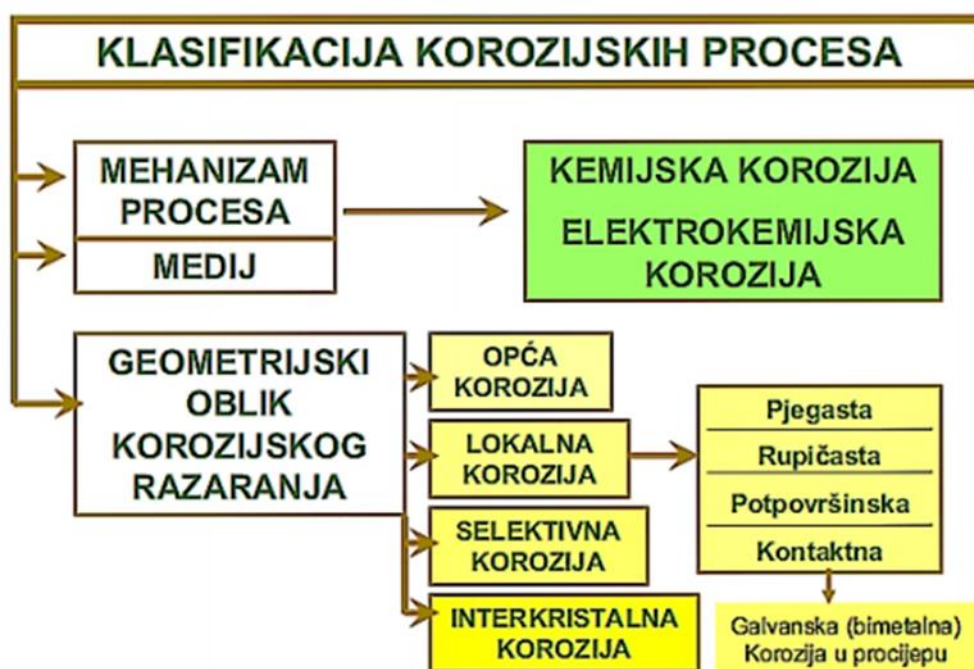
(Izvor: Juraga i sur., 2012.)

Slika 15. Wagnerova teorija kemijske korozije

3.2. Podjela korozije prema mjestu nastajanja

Prema mjestu nastajanja, razlikuju se: površinska i selektivna korozija. Površinska je ravnomjerno odmaščivanje metalnog sloja po cijeloj površini, relativno je bezopasna jer se lako uočava i postoje velike mogućnosti zaštite. Za razliku od površinske, selektivna je puno nepovoljnija jer umanjuje čvrstoću dijelova. Ona se može pojaviti kao mjestimična (pukotine i dr.), interkristalna (nastaje razaranjem materijala po granici zrna kristala poslije legiranja) i interkristalna (korozijske ravni idu preko kristala). Korozijsko ugrožavanje površine materijala obično se procjenjuje na osnovi boje i debljine korozijskog sloja. Kisik iz zraka ima visok utjecaj na ubrzanje procesa korozije. Svi metali mogu biti napadnuti korozijom samo ako je prisutan kisik. Utjecaj atmosfere i klime je veći što je atmosfera onečišćenija (sadržaj CO₂, prašine i dr.). (Adamović i Jevtić, 1988.)

Na slici 16. prikazana je klasifikacija korozije prema obliku nastanka.



(Izvor: Juraga i sur., 2012.)

Slika 16. Shema klasifikacije korozijskih procesa

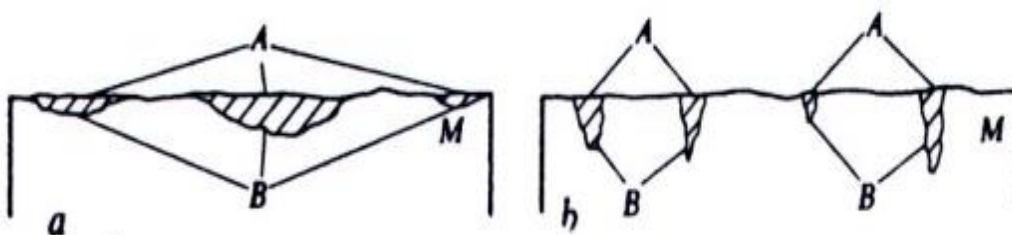
3.3. Geometrijska podjela korozije

Prema Alar i sur. (2012.) geometrijska podjela prema obliku razaranja materijala može biti opća, lokalna, selektivna i interkristalna. Opća korozija zahvaća čitavu izloženu površinu metala, a može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Mikroskopski gledano nije ni ravnomjerna korozija svuda jednako brza, pa obično uzrokuje ohrapavljenje glatke metalne površine. Ipak je takva korozija u praksi najmanje opasna jer se lako može pratiti proces i predvidjeti kad valja metalni predmet zamijeniti novim. Opasnija je, naravno, neravnomjerna opća korozija.

Jelić Mrčelić (2010.) navodi kako lokalna korozija nastaje na mikroskopskoj razini (najčešće na granici zrna materijala) i djeluje ubrzano na samo malom lokalnom području. Zrna materijala predstavljaju katodu, a granice zrna anodu. Zbog nedostatka kisika u području korozije (oksidacijsko - koncentracijske ćelije), korozija prodire dublje u metal stvarajući tako rupice u materijalu.

Lokalna korozija (Slika 17.) može se podijeliti na:

- pjegastu koroziju,
- rupičastu ili pitting koroziju,
- potpovršinsku koroziju i
- kontaktnu koroziju. (Jelić Mrčelić 2010.)



(Izvor: Alar i sur. 2012.)

Slika 17. Lokalna korozija: a) pjegasta, b) jamičasta (točkasta)

A površina metala prije korozije, B površina metala poslije korozije, M metal

Točkasta korozija (Slika 18.) često se naziva pitting (eng. pitting, stvaranje udubina). Ova se katkad širi ispod površine metala (potpovršinska korozija), pri čemu konačno nastaje korozijsko mjehuranje ili raslojavanje. Poseban oblik pjegaste i točkaste korozije javlja se na kontaktu dvaju elemenata u elektrolitu. Ako su ti elementi od različitih metala, nastaje galvanska kontaktna korozija neplemenitijeg metala, a ako se radi o dva elementa od istog metala, odnosno od metala i nemetala, pojavljuje se kontaktna korozija u procijepu. (Alar i sur. 2012.)



(Izvor: Bjegović, 2015.)

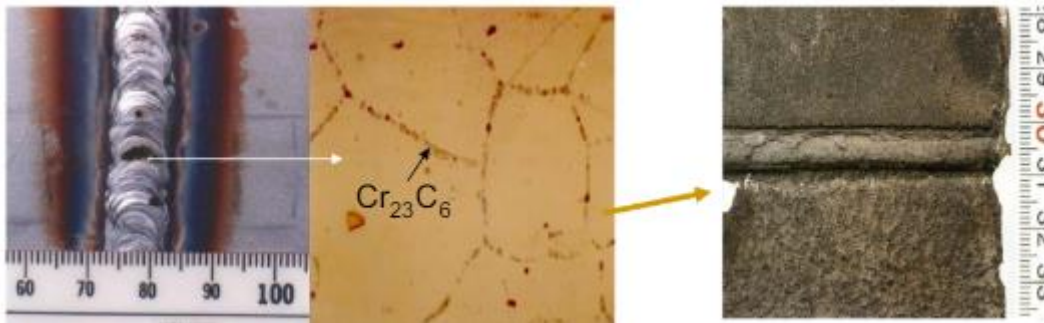
Slika 18. Točkasta korozija

Selektivna korozija legura može uništavati jednu fazu višefazne legure (npr. grafitizacija sivog lijeva), ili jednu komponentu dvofazne legure (npr. decinkacija mjedi). (Alar i sur., 2011.)

Prema Juragi i sur. (2012.) to je korozija legura kod koje sastojci reagiraju u udjelima različitim od njihova udjela u leguri. Neke komponente/faze legure su elektrokemijski aktivnije i anodno se otapaju u galvanskom kontaktu s plemenitijim komponentama/fazama.

Interkristalna (intergranularna) korozija (Slika 19.) širi se uzduž granica metalnog zrna u dubinu. Ta vrsta korozije može dugo ostati nevidljiva, pa je najopasnija, pogotovo s obzirom na naglo smanjenje čvrstoće elemenata. Konačna posljedica interkristalne korozije jest lom ili čak raspad metala u prah. Interkristalne pukotine mogu nastati kao posljedica napetosne korozije, premda se pri tom pukotine šire i transkristalno. U praksi se često istodobno pojavljuju različiti oblici korozije. Tako npr. točkasta korozija može biti prikrivena općom korozijom. (Alar i sur., 2011.)

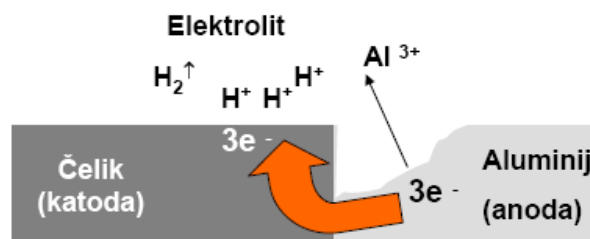
Juraga i sur., (2012.) navode kako najčešće zahvaća nehrđajuće čelike, legure na bazi nikla i aluminija. Posljedice su pad čvrstoće, runjenje zrna u mnogim medijima, te raspad uz zavar.



(Izvor: Juraga i sur., 2015.)

Slika 19. Interkristalna korozija

Galvanska korozija (bimetalna korozija) (Slika 20.) pojavljuje se kada su u međusobnom električnom kontaktu u nekom elektrolitu spojeni materijali različitih elektrodnih potencijala (različite „plemenitosti“). Od dva spojena, po kemijskom sastavu i strukturi različita materijala (raznorodni materijali), manje plemeniti materijal, odnosno metal nižeg električnog potencijala, postati će anoda. Intenzitet galvanske korozije ovisit će o iznosu razlike potencijala između metala ili legura, o prirodi okoline u kojoj se nalazi spoj, o polarizaciji metala ili legura, o geometrijskom odnosu metala ili legura koji su u spoju kao dijelovi konstrukcije. (Alar i sur., 2015.)



(Izvor: Jelić Mrčelić 2010.)

Slika 20. Galvanska korozija

Korozija u procijepu (Slika 21.) javlja se u blizini pukotina, procijepa ili razmaka između površina, a može biti inicirana i zadržavanjem (nakupljanjem) korozivnog medija u toj pukotini makar je okolna površina uglavnom suha. Pojava korozije u procijepu naročito je povezana s oblikovanjem konstrukcije i tehnologijom izrade. Loša konstrukcijsko - tehnološka rješenja najčešći su uzrok iniciranja ovog korozivnog oblika. Korozija u procijepu javlja se i ispod naslaga, nečistoća, na mjestima gdje se dugotrajno zadržava agresivni medij, odnosno tamo gdje je lošim konstrukcijskim rješenjima to omogućeno. (Alar i sur., 2015.)



(Izvor: Jelić Mrčelić 2010.)

Slika 21. Korozija u procijepu

4. KOROZIJA U BIOPLINSKOM POSTROJENJU

Korozija u bioplinskim postrojenjima jedan je od najvažnijih razloga za direktna oštećenja postrojenja (Slika 22.), značajno utječu na troškove održavanja, također je često uzrok zastoja, pa čak i industrijskih nesreća. (Andrade i sur., 2016.)



(Izvor: Nehrđajući čelici u proizvodnji bioplina Publikacija 5412 ISSF 2012)

Slika 22. Uzorak 1.4509 2B nakon izloženosti tijekom 6 mjeseci u biodigestoru

Andrade i sur. (2016.) navode kako šteta uzrokovana visokom razinom kemijskog i fizičkog naprezanja postaje vidljiva tek nakon duljeg razdoblja rada bioplinskih postrojenja i prisiljava na proračun s većim troškovima na početku izgradnje, zbog odabira kvalitetnijih materijala i troškova održavanja.



(Izvor: autor)

Slika 23. Digestat za proizvodnju bioplina

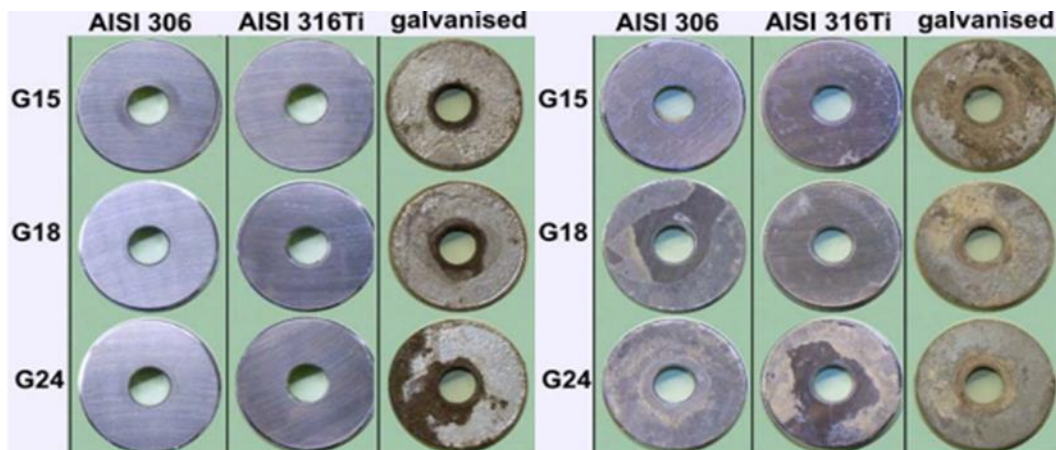
Sva dijelovi postrojenja za proizvodnju bioplina koji su u kontaktu s radnim medijem (digestat (Slika 23.), biomasa, bioplin) izloženi su ograničenom vijeku trajanja ovisno o ugrađenim materijalima i ugrađenoj antikorozivnoj zaštiti. Očekivani vijek trajanja opreme ovisi o izloženosti i agresivnosti medija (Slika 24.) na sve optočne površine opreme. Kemijsko djelovanje, erozija i korozija redovno su prisutne pojave na postrojenjima za proizvodnju bioplina. (Izvor: <http://belzona.hr>)



(Izvor: autor)

Slika 24. Agresivno djelovanje digestata na kolica za čišćenje postrojenja

Da bi se projektantskim mjerama smanjio utjecaj korozije potrebna je uska suradnja projektanta, tehnologa, konstruktora i ostalih mjerodavnih osoba da se postavi takav tehnološki proces koji će omogućiti zaštitu objekta, opreme, sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda. Pri projektiranju treba koristiti praktična iskustva uzimajući u obzir sve prije navedene faktore. Također je vrlo bitno da se pri projektiranju i dimenzioniranju dijelova i uređaja koji su podložni trošenju uzmu u obzir ne samo mehanička opterećenja nego i predvidiva dubina trošenja nakon projektiranog vijeka trajanja (Slika 25.). Spretnost projektanta se očituje u zadovoljenju što većeg broja zahtjeva u pogledu zaštite od korozije tj. kompromisnom rješenju koje će voditi računa o svim faktorima da bi se produžio vijek trajanja opreme i smanjili troškovi održavanja. (Jelič Mrčelić, 2014.)



(Izvor: Feser i Krebs, 2015.)

Slika 25. Uzorak nakon ukupno 15 mjeseci izlaganja u laboratorijskom fermentoru sa zelenom biomasom kao supstrat. Lijevo: tekuća faza. Desno: plinska faza

4.1. Korozija bioplinskog cjevovoda

Armatura i cjevovodi koji se koriste u sustavu za proizvodnju bioplina moraju biti otporni na koroziju i prikladni za rukovanje s materijalima koji se pojavljuju u toj proizvodnji (bioplin i biomasa). Odabir materijala cijevi ovisi o vrsti materijala kojeg provodi i tlaku, a uključuje PVC, HDPE, čelik ili nehrđajući čelik. Radi sigurnosti rada bioplinskog postrojenja, moraju se jamčiti minimalni uvjeti za cjevovode i armature prema kvalitetama materijala, sigurnosnim pitanjima i nepropusnosti. (Al Seadi i sur., 2009.)



(Izvor: <https://hr.stuklopechat.com>)

Slika 26. Korozija cjevovoda

Korozije cjevovoda (Slika 26.) mogu se podijeliti na unutrašnje i vanjske korozije. Uvjeti okoliša oko cjevovoda uzročnici su vanjske korozije dok do unutrašnje korozije uglavnom dovode protok fluida kroz cjevovod i geometrija cjevovoda. Korozija može također biti uzrokovana ili pospješena aktivnošću mikroorganizama, koji žive u ili na stjenki cijevi. (Obanjesu i sur., 2011.)

Kod neizoliranih cijevi pojavljuje se kondenzacija, što nakon spajanja sa sumporovodikom (H_2S), dovodi do stvaranja sumporne kiseline koja uzrokuje koroziju motora. Rješenje je povećana izolacija cijevi (Slika 27.) i uklanjanje H_2S sa karbonskim filterom te grijanje cijevi radi izbjegavanja kondenzacije. (Biogas Action Glasnik 6/2017.)

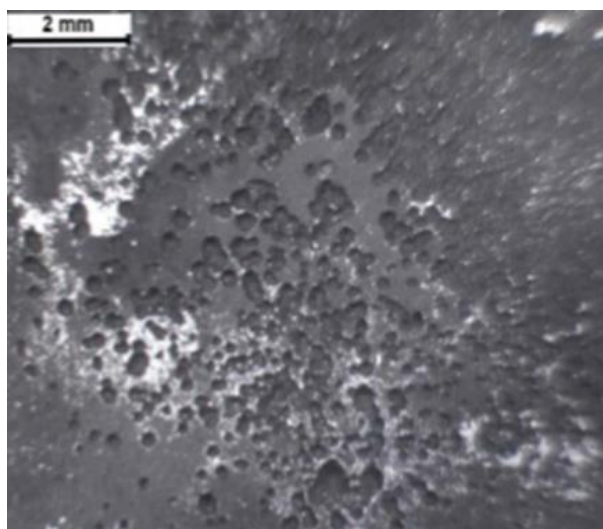


(Izvor: autor)

Slika 27. Izolirani cjevovod bioplina do baklje za spaljivanje

4.2. Korozija fermentora

Krička i sur. (2009.) tvrde kako gnojovka, kofermenti i nastajući bioplin mogu zbog svojih fizikalno - kemijskih svojstava nagrizzati materijale kao što su beton (Slika 28.) i čelik, stoga je nužno zaštititi stijenke fermentora. No, u pravilu čelik ne korodira u doticaju s gnojovkom, odnosno gnojovkom s kofermentima pa se najčešće ne treba stavljati zaštita, emajlirati niti primjeniti visokokvalitetni čelik. Nadalje, zaštititi se mora i područje u čeličnom fermentoru koje nije stalno pokriveno tekućim medijem.



(Izvor: Andrade i sur. 2016.)

Slika 28. Površina stijenke fermentora pod utjecajem površinske korozije.

Čelični fermentori mogu biti obloženi posebnim oblogama od plastičnih masa (Slika 29.) koje sprječavaju direktan kontakt između agresivnog medija i unutarnje stijenke fermentora smanjujući mogućnost pojave korozije i trošenje čeličnih dijelova. (Izvor: <http://www.leripa.com>)



(Izvor: <http://www.leripa.com>)

Slika 29. Postavljanje posebnih plastičnih obloga

Silva i Benelli (2019.) navode kako čelik može biti obložen i staklom. Takva obloga pruža vrhunsku otpornost na koroziju s obzirom na kiseline, lužine, vodu i druge kemijske otopine (osim fluorovodične kiseline i vruće koncentrirane fosforne kiseline). Naravno, kako staklena obloga pruža zaštitu u ekstremno agresivnim okruženjima, troškovi su joj izravno proporcionalni. Osim toga, vrlo je podložna oštećenju od udara, a popravci mogu biti vrlo skupi.



(Izvor: <http://biomassmagazine.com>)

Slika 30. Oštećenje i zakrpa na čeličnom digestoru

Pogreške u primjeni i mehanička oštećenja tijekom instalacije mogu rezultirati rupama u staklenoj oblozi. Agresivne kemikalije proizvedene tijekom procesa anaerobne digestije tada napadaju čelik, a korozija se može vrlo brzo uvesti u tekućoj i plinskoj fazi. Na slici 30. vidimo oštećenje promjera 1 centimetar, što dovodi do propusta tekućeg digestata ili metana. (Silva i Benelli, 2019.)

Potencijalno eksplozivna atmosfera znači da popravak zavarivanja ne dolazi u obzir. Uz to, zavarivanje može oštetiti unutarnju staklenu oblogu što bi moglo dovesti do njenog raspada. Stoga je potrebno razmotriti rješenja koja se primjenjuju i očvršćuju na sobnoj temperaturi. Npr. epoksidne paste. (Silva i Benelli, 2019.)

Zaštitni sloj smanjuje koroziju uz uvjete da:

- su korozivni produkti u svim uvjetima kruti i fizikalno - kemijski stabilni (ne smiju se otapati, razgrađivati i kemijski reagirati)
- je volumen korozivnih produkata jednak ili veći od volumena metala koji korodira, tj. zaštitni sloj mora potpuno prekriti metalnu površinu. (Jelić Mrčelić, 2014.)

4.3. Ostali oblici korozije u bioplinskom postrojenju

4.3.1. Kavitacijska korozija

Mehaničko trošenje je uzrokovano abrazijom zbog stalnog kretanja tvrdih sastojaka digestata cjevovodima i fermentorima, npr. pijesak. Prije svega, oštećuje se ulazni puž, crpke (Slika 31.) i miješalice koji su u stalnom kontaktu s pokretnim digestatom. Zbog masenog opterećenja, potisne sile i sile zatezanja fermentacijski materijal troši vrhove lopatica propellerskih miješalica i crpki, što dovodi do kavitacije i kavitacijske korozije te potom do propadanja metalnih materijala. (Andrade i sur. 2016.)



(Izvor: autor)

Slika 31. Kavitacijska korozija rotora Biomix crpke

Andreade i sur. (2015.) utvrdili su kako velika habanja crpki nastaju kada nisu dovoljno dimenzionirane za potreban otpor i pritisak. Isto vrijedi za miješalice (Slika 32.) ako moraju pomicati prevelike količine fermentacije ili je viskoznost previsoka. Opterećenje dovodi do kavitacije, oštećenja ležaja i loma lopatica miješalica, a kod miješalica s dugim osovina do pucanja osovine. Oštećenja potopnih miješalica često uključuju mehanički kvar u obliku pokvarenih suspenzija ili propuštanja, što može rezultirati prodorom tekućine i kratkim spojem motora.



(Izvor: autor)

Slika 32. Korozivno djelovanje digestata na lopatice mješača

4.3.2. Korozivno djelovanje sumporovodika (H_2S)

Sumporovodik je otrovan plin s neugodnim mirisom poput trulih jaja, koji u kombinaciji s vodenom parom iz bioplina stvara sumpornu kiselinu. Kako kiselina korozivno djeluje (Slika 33.) na motore kogeneracije i ostale komponente poput plinovoda i ispušnih cijevi, nužno je napraviti desumporizaciju i sušenje bioplina. (Al Seadi i sur., 2009.)



(Izvor: Nehrđajući čelici u proizvodnji bioplina Publikacija 5412 ISSF 2012)

Slika 33. Nakupljanje sumpora unutar biodigestra, kao rezultat desulfurizacije

Al Seadi i sur. (2009.) zaključuju kako kod korištenja stajskog gnoja u kodigestiji s drugim supstratima, proizvedeni bioplin može biti s manje ili više udjela H_2S . Ako se bioplin koristi u plinskim motorima u kogeneraciji, udio sumporovodika mora biti ispod 700 ppm za većinu konvencionalnih plinskih motora, kako bi se izbjegla visoka korozija i prebrzo i skupo trošenje ulja za podmazivanje.

5. ZAŠTITA OD KOROZIJE

Od konstrukcijskih materijala se očekuje da uz što nižu cijenu imaju izvrsna mehanička svojstva i svojstva obradljivosti, a da u isto vrijeme osiguraju i korozijsku otpornost. Navedena svojstva, osim u slučaju korištenja na primjer visokokorozijski postojanih materijala poput nehrđajućih čelika, legura nikla i sl. u praktičnom slučaju rijetko može ispuniti sam konstrukcijski materijal. Stoga se primjenjuju različite metode/tehnologije zaštite od korozije. (Juraga i sur., 2012.)

Prema Alar i sur. (2011.) metode zaštite od korozije temelje se na teoriji korozijskih procesa. Izmjenama unutrašnjih (karakteristike konstrukcijskog materijala) i vanjskih (karakteristike okoline) čimbenika utječe se na usporavanje ili zaustavljanje korozijskih procesa. Iz teorije kemijske korozije proizlazi da se osnovne metode borbe protiv te pojave mogu temeljiti na smanjenju ili poništenju kemijskog afiniteta, na sniženju energetske razine sustava ili na poboljšanju zaštitnih svojstava korozijskih produkata.

Juraga i sur. (2012.) navode sljedeće metode zaštite od korozije (Slika 34.):

1. Elektrokemijske metode zaštite:

- Katodna zaštita,
- Anodna zaštita.

2. Zaštita promjenom okolnosti:

- Uklanjanjem aktivatora korozije,
- Inhibitorima korozije.

3. Primjena korozijski postojanih materijala,

4. Konstrukcijsko-tehnološke mjere ,

5. Zaštita prevlakama.



(Izvor: Juraga 2012.)

Slika 34. Metode zaštite od korozije

Postupci pripreme površine:

1. Mehanička obrada;

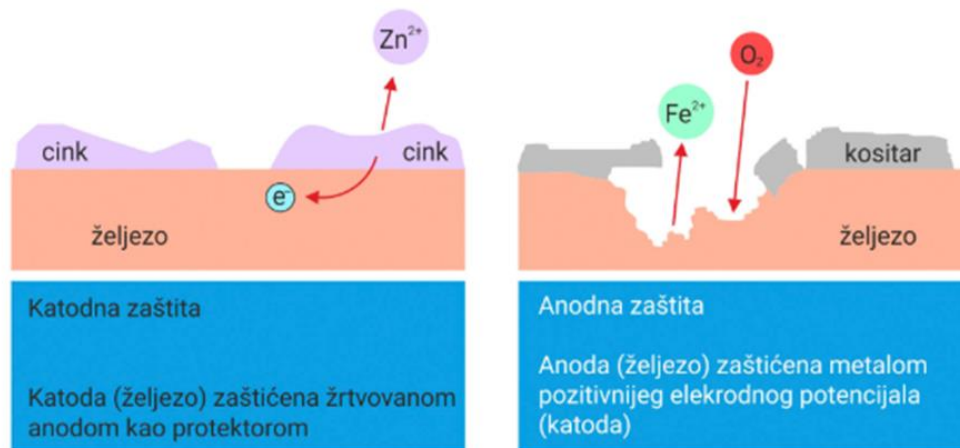
- Brušenjem,
- Poliranjem,
- Četkanjem,
- Sačmarenjem,
- Pjeskarenjem.

2. Kemijska obrada;

- Kiselinsko dekapiranje i
- Lužnato dekapiranje. (Bjegović 2015.)

5.1. Elektrokemijske metode zaštite

Način zaštite od korozije kada se metal održava ili u pasivnom stanju (u području potencijala pasivacije) ili u imunom stanju (pri potencijalima nižim od stacionarnih) kada ne korodira. Čelične konstrukcije koje su ukopane ili uronjene (cjevovodi, brodovi, lučka postrojenja, rezervoari, izmjenjivači topline i dr.) zaštićuju se ovom vrstom antikorozivne zaštite. Ovisno o načinu polarizacije elektrokemijska zaštita može biti katodna i anodna (Slika 35.). (Levanić, 2009.).



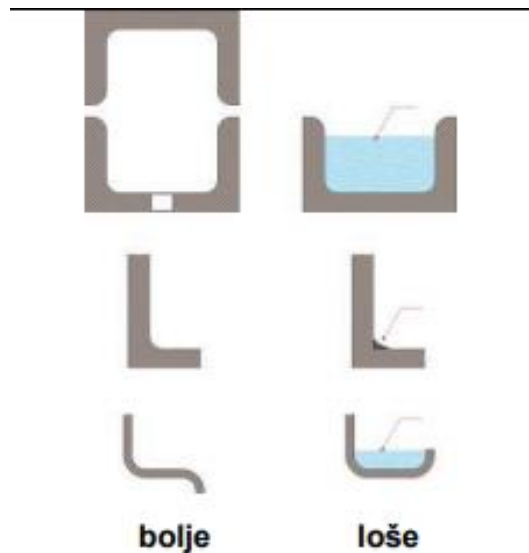
(Izvor: <https://edutorij.e-skole.hr>)

Slika 35. Katodna i anodna zaštita metala

5.2. Konstrukcijsko - tehnološke mjere

Konstruktivne mjere zaštite obuhvaćaju:

- Izvođenje glatkih površina u nagibu (nagib 0,2 – 0,5%),
- Omogućavanje pristupa svim dijelovima konstrukcije radi čišćenja i premazivanja,
- Pri korištenju dva različita metala, njihov spoj zaštititi izolacijom,
- Pri projektiranju izbjeći zadržavanje vode na konstrukciji (Slika 36.),
- Pažljivo izvođenje konstrukcije kako ne bi došlo do oštećenja postojeće zaštite; npr. za elemente zaštićene vrućim umakanjem u cink,
- Uočenu oštećenu zaštitu treba nadomjestiti; npr. bojom koja sadrži cink i / ili inhibitor. (Bjegović 2015.)



(Izvor: Juraga i sur. 2015.)

Slika 36. Sprečavanje nastanka vodenih džepova i stvaranja naslaga

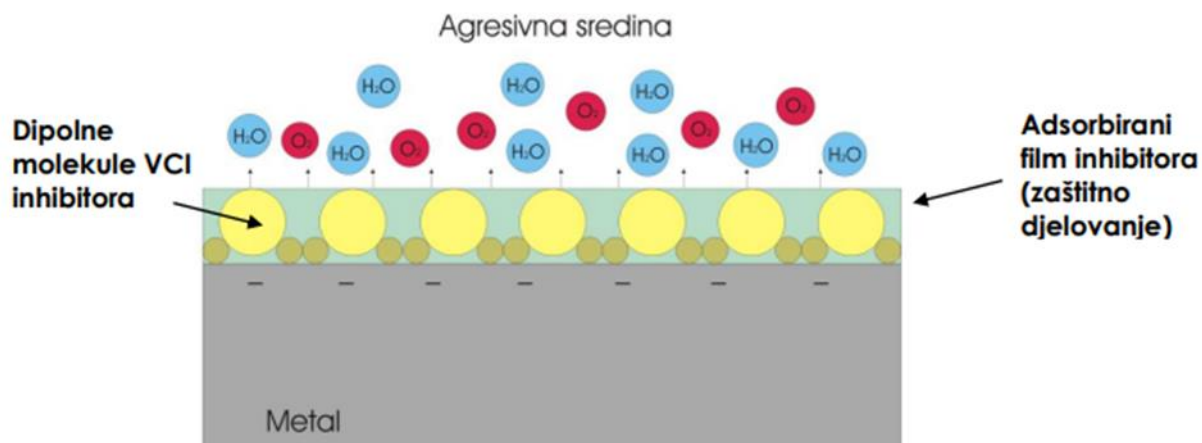
5.3. Zaštita promjenom okolnosti

Prema Stupnišek-Lisac (2007.) ova metoda koristi se u okolinama koje se ne obnavljaju ili povremeno obnavljaju, najviše za zaštitu izmjenjivača topline, parnih kotlova, kondezatora, kada za dekapiranje, te cisterni za prijevoz agresivnih otopina.

Isti autor navodi kako se smanjenje korozivnosti vanjske sredine koja djeluje na metale i legure provodi na dva načina:

- uklanjanjem aktivatora korozije iz agresivne sredine,
- uvođenjem inhibitora korozije u agresivnu sredinu (Slika 37.).

Inhibitori korozije se definiraju kao tvari anorganskoga ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Prema načinu djelovanja, inhibitori se dijele na anodne, katodne i miješane (anodno - katodne), prema tome koče li ionizaciju metala (anodnu reakciju), redukciju oksidansa (katodnu reakciju) ili oba ta procesa. (Juraga i sur., 2015.)



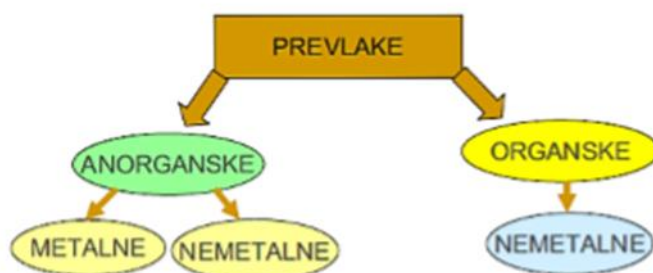
(Izvor: Juraga i sur. 2015.)

Slika 37. Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije

5.4. Zaštita prevlakama

Zaštita metala premazima jedan je od najrasprostranjenijih postupaka zaštite u tehnici, čak 3/4 metalnih površina zaštićeno je premazima. Jedan od osnovnih razloga tome je relativno niska cijena premaza u odnosu na druge metode zaštite od korozije. (Juraga i sur., 2015.)

Alar i sur. (2011.) te Juraga i sur. (2012.) ukazuju na to da je osnovna uloga nanošenja raznih prevlaka (Slika 38.) na konstrukcije zaštita od korozije, a pritom se dodatno mogu popraviti estetski dojam i neka fizikalna svojstva.



(Izvor: Juraga i sur., 2011.)

Slika 38. Podjela prevlaka za zaštitu metala

6. ZAKLJUČAK

Korozija je spontani proces trošenja metalnih i nemetalnih materijala, nastao kemijskom ili elektrokemijskom reakcijom materijala i okoline. Posljedica je razaranje materijala i njegovih svojstava. Proces korozije pojavljuje se svuda oko nas i svojim djelovanjem ostavlja negativne posljedice na sve napadnute materijale. Korozija djeluje i bez našeg utjecaja, a na nama je ako je već ne možemo spriječiti da barem ne potpomažemo njeno napredovanje, predvidimo ju i oblik njene pojave, te zatim konstrukcijskim rješenjima, kvalitetnim materijalima i efikasnom zaštitom ublažimo njeno štetno djelovanje. Pojavni oblici korozije dijele se prema mehanizmu djelovanja, prema mjestu nastajanja i prema geometrijskom obliku razaranja.

Bioplinsko postrojenje je zatvoreni sustav unutar kojeg se procesom anaerobne digestije energetski bogata biomasa razlaže stvarajući bioplin koji služi kao pogonsko gorivo za velike motore na bioplinskim postrojenjima koji su spojeni s generatorima te se tako proizvodi električna energija. Dobiveni bioplin se može iskoristiti na druge načine, pa osim električne energije valja spomenuti toplinski, mehanički i elektromagnetski potencijal. Ostatak biomase nakon proizvodnje bioplina naziva se digestat koji je iskoristiv kao visokokvalitetno organsko gnojivo za poljoprivredne površine.

Korozija svoj štetan utjecaj ostavlja i na bioplinskim postrojenjima. U ovom radu obrađen je utjecaj samo na metalne dijelove postrojenja. Korozija zahvaća fermentore, cijevi, spojeve, brtve, crpke, mješače, te alate i opremu koji su u kontaktu s agresivnim medijima. Zbog mogućnosti velikih šteta, pa čak i havarije značajni elementi postrojenja koji ne smiju propustiti radni medij izrađeni su od visokokvalitetnih materijala te potpomognuti odgovarajućim zaštitama, redovnim održavanjem i zamjenom dotrajalih dijelova osiguravaju visoku sigurnost sustava za radnike i okoliš, te vrhunske rezultate rada postrojenja s minimalnim gubicima. Najčešće vrste korozije koje se pojavljuju na bioplinskom postrojenju su: opća korozija (cijevi, elektromotori, crpke i mješači - zbog djelovanja vanjskih uvjeta), te kavitacijska korozija (lopatice mješača, ulazni puž crpke - zbog mehaničkog trošenja uzrokovanog abrazijom).

Korozija je uzrok znatnih gubitaka i jedan od važnijih čimbenika svjetske krize materijala i energije, pojavljuju se direktne štete na tehničkim sredstvima ili nastaju zastoji u radu - indirektno štete. Poznavajući ove podatke potrebno je provoditi sve mjere prepoznavanja i zaštite od korozije spomenute u radu kako bi se izbjegli direktni i indirektni toškovi.

7. LITERATURA

1. Adamović Ž., Jevtić M. (1988.): Preventivno održavanje u mašinstvu. Beograd.
2. Alar, A., Šimunović, V., Juraga, I. (2011.): Teorijske osnove korozijskih procesa i metode zaštite. Autorizirana predavanja. Zagreb.
3. Alar V. (2015.): Kemijska postojanost metala. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
4. Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Kottner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. (2009): Priručnik za bioplin, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb.
5. Andrade D. ing.m.sc., dr. Bischoff M., prof. dr.-ing, Feser R., Krebs A. B.sc., dr. Küver J., dr. Lichti F., dipl.-biol. Remesch M., dr. Wagner D., dr. Weber A. (2016.) Korozija metalnih materijala u bioplinskim postrojenjima.
6. ASM International (2003.): ASM Handbook, Volume 13A Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection.
<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM315/Asm%20Metals%20Handbook%20Volume%2013%20-%20Corrosion%20Fundamentals,%20Testing,%20And%20Protection.pdf4>.
7. Biogas Action Glasnik 6/2017 „Promocija održivog korištenja bioplina u Europskoj uniji“
http://www.obiplinu.org/wp-content/uploads/2017/10/BiogasAction_Newsletter06.pdf
8. Bjegović D. prof.dr.sc. (2015.): Zaštita metala od korozije Građevinski fakultet. Sveučilište u Zagrebu.
9. Božić, S., Radojević, S. (2008.): Korozija sredstava mehanizacije u poljoprivredi. Zaštita materijala. Stručni rad.str46.
10. Brdarić D., Kralik D., Kukić S., Spajić R., Tunjić G. (2009.): Konverzija organskog gnojiva u bioplin. Izvorni znanstveni članak.
11. Feser R., Krebs A. (2015.): Electrochemical Investigations of Materials for Biogas plants. University of Applied Sciences South Westfalia, Iserlohn, Germany.
12. Glavaš H., Ivanović M. (2018.): Bioplinska postrojenja u Baranji // 7th Symposium with international participation Kopački rit past, present, future 2018, Book of abstracts /

Ozimec S., Bogut I., Rožac V., Stević F., Popović Ž., Bolšec A., Vereš M. (ur.). Osijek : Javna ustanova "Park prirode Kopački rit". 36-37 (predavanje, sažetak, znanstveni).

13. Jelić Mrčelić, G. (2010.): Korozija i zaštita materijala. Skripta. Pomorski fakultet u Splitu. <http://documents.tips/download/link/skripta-zastita-materijala>

14. Jelić Mrčelić G. doc.dr.sc. (2014.) Korozija i zaštita materijala. Skripta.

15. Juraga, I., Šimunović V., Stojanović, I., Alar, V. (2012.): Mehanizmi zaštite od korozije. Autorizirana predavanja. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb. https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi_zatite_od_korozije_-_skripta_2015.pdf

16. Juraga I. prof.dr.sc., Alar V. dr.sc., Šimunović V. dipl.ing., Stojanović I. dipl. ing. (2011.): Korozija i metode zaštite od korozije. www.fsb.hr/korozija.

17. Krička T., Voća N., Jurišić V. (2009.): Pojmovnik bioplina. Priručnik. Zagreb.

18. Levanić, T. (2009): Zaštita konstrukcija od korozije primjenom premaza. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.

19. Martinez, S. (2006.): Elektrokemijska korozija materijala – lokalizirana korozija. Skripta. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Zavod za elektrokemiju.

20. MICO d.o.o. društvo s ograničenom odgovornošću za proizvodnju, trgovinu i usluge

21. Nehrđajući čelici u proizvodnji bioplina Publikacija 5412 ISSF 2012 Stainless steel in biogas production, ISSF, 2012.

22. Obanijesu, E.O., Pareek, V., Gubner, R., Tade, M.O. (2010.): Obrazovanje o koroziji, oruđe za opstanak industrije prirodnog plina. Nafta 61(12)2010.

23. Obanijesu, E.O., Pareek, V., Gubner, R., Tade, M.O. (2010.): Stvaranje hidrata i njihov utjecaj na unutrašnju koroziju cjevovoda prirodnog plina.

24. Stupnišek-Lisac E. (2007.): Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala. Sveučilišni udžbenik. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Zagreb.

25. Špicnagel Ana-Marija (2014.): Potencijal bioplinskih postrojenja u hrvatskom poljoprivrednom sektoru. Sisak.

26. Marina Silva and Tom Belli. Biomass magazine. Corrosion Management of Anaerobic Digesters and Sludge Tanks. 03.01.2019.
<http://biomassmagazine.com/articles/15839/corrosion-management-of-anaerobic-digesters-and-sludge-tanks> (20.8.2019.)
27. Osječko - baranjska županija. „Bioplinsko postrojenje Hrastin“ uspješan projekt i primjer dobre prakse. 22.10.2018.
<http://www.obz.hr/hr/index.php/component/k2/item/550-bioplinsko-postrojenje-hrastin-uspjesan-projekt-i-primjer-dobre-prakse> (5.6.2019.)
28. Glas Slavonije. Šarkezi: Godišnje ćemo proizvoditi 2,5 mil. kWh struje. 22.10.2018.
<http://www.glas-slavonije.hr/382691/3/Sarkezi-Godisnje-cemo-proizvoditi-25-mil-kWh-struje> (5.6.2019.)
29. Hrvatska akademska i istraživačka mreža - CARNET. Korozija je neželjena redoks-reakcija.
<https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/ee15a65f-2692-4509-a46b-657427659336/kemija-2/m05/j05/index.html> (17.7.2019.)
30. Belzona, Erozijska, <http://belzona.hr/tag/erozija/> (21.7.2019.)
31. Leripa, Linings for biogas plants, <http://www.leripa.com/en/products/engineering-and-plant-engineering/linings/1369.html>, (4.8.2019.)
32. Leripa, Linings for biogas plants,
http://www.leripa.com/redx/tools/mb_image.php/cid.x365a5462673261424574593d/gid.3IMG_2290.jpg (4.8.2019.)
33. Stuklopechat, Zaštitna zaštita od korozije. Glavni načini za zaštitu cjevovoda od korozije.
<https://hr.stuklopechat.com/biznes/4790-protektornaya-zaschita-ot-korrozii-osnovnye-sposoby-zaschity-truboprovodov-ot-korrozii.html> (7.8.2019.)
34. Korozija betona: vrste, mehanizmi, metode zaštite. 19.6.2018. <https://hr.blog-oremonte.ru/izgradnja/korozija-betona-vrste-mehanizmi-metode-zastite.html> (15.8.2018.)