

# Korozija i zaštita od korozije poljoprivredne tehnike

---

**Andrić, Igor**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:603696>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**



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  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

**Igor Andrić, apsolvant  
Diplomski studij Mehanizacija**

**KOROZIJA I ZAŠTITA OD KOROZIJE  
POLJOPRIVREDNE TEHNIKE**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2017.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

**Igor Andrić, absolvent  
Diplomski studij Mehanizacija**

**KOROZIJA I ZAŠTITA OD KOROZIJE  
POLJOPRIVREDNE TEHNIKE**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Prof. dr. sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. Prof. dr. sc. Goran Heffer, mentor
3. Doc. dr. sc. Ivan Plaščak, član

**Osijek, 2017.**

## SADRŽAJ

---

<b>1.</b>	<b>UVOD</b> .....	1
<b>2.</b>	<b>PREGLED LITERATURE</b> .....	2
2.1.	KOROZIJA .....	2
2.1.1.	<b>Klasifikacija korozije prema mehanizmu djelovanja</b> .....	4
2.1.1.1.	<i>Kemijska korozija</i> .....	5
2.1.1.2.	<i>Elektrokemijska korozija</i> .....	5
2.1.2.	<b>Klasifikacija korozije prema geometrijskom obliku razaranja</b> .....	6
2.1.2.1.	<i>Opća korozija</i> .....	7
2.1.2.2.	<i>Lokalna korozija</i> .....	8
2.1.2.3.	<i>Selektivna korozija</i> .....	11
2.1.2.4.	<i>Interkristalna korozija</i> .....	12
2.1.2.5.	<i>Specifični oblici korozije</i> .....	12
2.2.	KOROZIJA POLJOPRIVREDNE TEHNIKE .....	16
2.3.	ZAŠTITA OD KOROZIJE .....	20
2.3.1.	<b>Elektrokemijske metode zaštite</b> .....	21
2.3.1.1.	<i>Katodna zaštita</i> .....	21
2.3.1.2.	<i>Anodna zaštita</i> .....	22
2.3.2.	<b>Zaštita promjenom okolnosti</b> .....	23
2.3.2.1.	<i>Uklanjanje aktivatora korozije iz agresivne sredine</i> .....	23
2.3.2.2.	<i>Uvođenje inhibitora korozije u agresivnu sredinu</i> .....	23
2.3.3.	<b>Primjena korozijski postojanih materijala</b> .....	24
2.3.4.	<b>Konstruktivsko-tehnološke mjere</b> .....	25
2.3.5.	<b>Zaštita prevlakama</b> .....	26
2.3.5.1.	<i>Anorganske metalne prevlake</i> .....	27
2.3.5.2.	<i>Anorganske nemetalne prevlake</i> .....	27
2.3.5.3.	<i>Organske prevlake</i> .....	28
2.4.	ZAŠTITA POLJOPRIVREDNE TEHNIKE OD KOROZIJE .....	29
<b>3.</b>	<b>MATERIJAL I METODE</b> .....	32
<b>4.</b>	<b>REZULTATI</b> .....	35
4.1.	KOROZIJA I ZAŠTITA OD KOROZIJE POLJOPRIVREDNE TEHNIKE	35
4.1.1.	<b>Okretni plug Överum Xcelsior EX 6975 F</b> .....	35

4.1.2.	<b>Podrivač McConnell 3M Vibro Aerator .....</b>	<b>36</b>
4.1.3.	<b>Teška tanjurača Kongskilde Terra-X-7000 .....</b>	<b>37</b>
4.1.4.	<b>Sjetvospremač Kongskilde Germinator SP7000 .....</b>	<b>38</b>
4.1.5.	<b>Vučeni rasipač mineralnog gnojiva RCW .....</b>	<b>39</b>
4.1.6.	<b>Prikolica za razbacivanje stajskog gnojiva Unia-Agromet TYTAN 18 ...</b>	<b>41</b>
4.2.	<b>GARAŽIRANJE POLJOPRIVREDNE TEHNIKE .....</b>	<b>43</b>
<b>5.</b>	<b>RASPRAVA .....</b>	<b>47</b>
<b>6.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>48</b>
<b>7.</b>	<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>SAŽETAK .....</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>53</b>
<b>10.</b>	<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>54</b>
<b>11.</b>	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>55</b>
	<b>TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA .....</b>	<b>57</b>
	<b>BASIC DOCUMENTATION CARD .....</b>	<b>58</b>

## 1. UVOD

Korozija je pojava kojom su ljudi okruženi i vidljiva je na svakom koraku, bilo da je riječ o zahrđalom čavlu u drvenoj ogradi, metalnom stupu, ispušnoj cijevi automobila, limenom oluku za odvod oborinske vode, itd. Korozija metalnih konstrukcija, koje se nalaze u okruženju ljudi, najčešće se opisuje riječju „hrđa“ i predstavljaju uglavnom ružne i neugodne slike koje se mogu vidjeti vrlo često, na vrlo različitim mjestima.

Gledano u tehničkom smislu, pojam korozije najčešće je vezan uz sve ono što predstavlja određeni oblik nenamjernog trošenja mehaničkih dijelova različitim kemijskim, mehaničkim i biološkim djelovanjem. Korozijski procesi vrlo su česta pojava, koja se ponekad izrazito teško suzbija. To su neželjeni procesi između metala i komponenata okoline, pri čemu se metalni materijali mijenjaju u oblike koji više nemaju uporabnu vrijednost.

Korozija svojom snagom može pojedine materijale ili određene dijelove poljoprivrednih strojeva oštetiti do te mjere da postanu neupotrebljivi, dok neki zbog toga postaju jako skupi za održavanje. Zbog takvog trošenja materijala korozijom nastaju gubitci u poljoprivrednim djelatnostima koje u svom odvijanju koriste različite vrste poljoprivredne tehnike.

Modernizacijom i razvojem novih poljoprivrednih strojeva i uređaja, s naglaskom na sve većoj proizvodnoj učinkovitosti, sofisticiranosti postupaka te primjeni suvremene tehnologije, i ekonomsko značenje korozije u poljoprivredi raste, budući da se povećava količina ugrađenog materijala u konstrukciju, uz istodobno pogoršavanje korozijskih uvjeta (navodnjavanje, gnojidba, primjena zaštitnih sredstava i sl.) kojima se izlažu konstrukcijski materijali. Novi tehnološki postupci uključuju i otežane uvjete zbog povećanja radnih brzina, povišenih temperatura, tlakova i naprezanja, te primjenu agresivnih kemikalija, što također pogoduje pojačanom nastajanju određenih vrsta korozije poljoprivredne tehnike.

Cilj ovoga rada je analizirati uzroke i vrste korozijskih procesa u poljoprivrednoj tehnici koja se primjenjuje u ratarskoj proizvodnji i njezine negativne učinke, te primjenjive postupke zaštite od djelovanja korozije.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. KOROZIJA

Prema ASM (2000.), korozija se može definirati na više načina. Neke definicije su vrlo uske i bave se određenim oblikom korozije, dok su druge prilično široke i objašnjavaju različite oblike degradacije materijala korozijom. Riječ „korodirati“ izvedena je 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“.

Obanijesu i sur. (2010.) koroziju definiraju kao kemijsku ili elektrokemijsku reakciju između materijala, obično metala, i njegove okoline, što 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, dok ga sprječavaju supstance koje povisuju u hidroksidne ione ( $OH^-$ ).

Brojni su uzroci nastanka korozije metala, pa tako Martinez (2006.) navodi sljedeće uzroke:

#### 1. Materijal

- kontakt različitih materijala ili komponenata čvrste otopine
- uključci 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 pukotina, rupa, nakupina i sl.
- lutajuće struje
- prisutnost adsorbiranog vodika na metalu

#### 3. Mehanički uzroci

- statičko naprezanje
- fluktuirajuće naprezanje

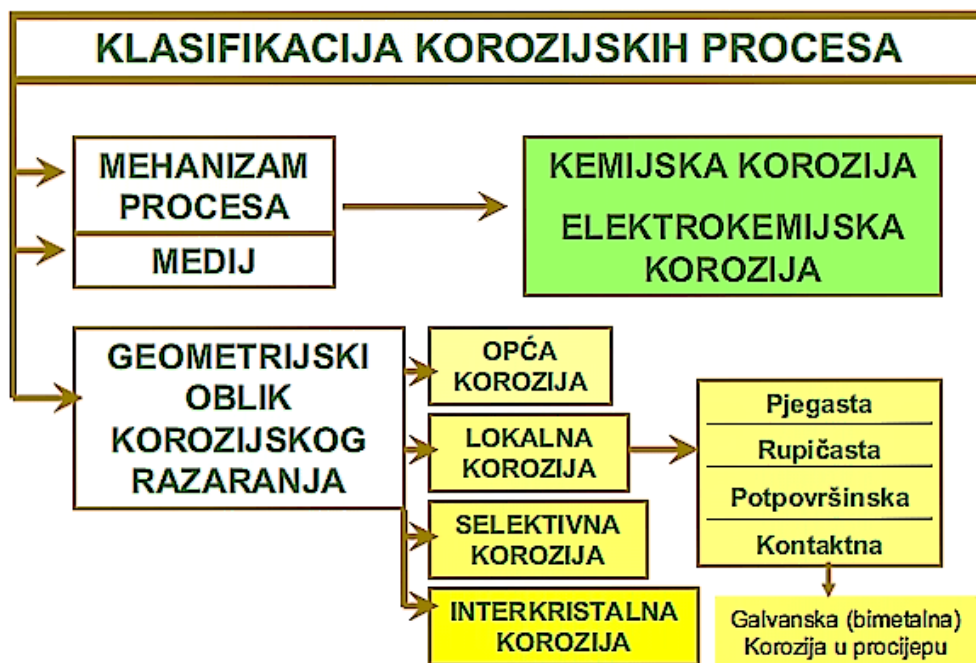
Esih i Dugi (1990. i 1992.), te Stupnišek-Lisac (2007.) definiraju koroziju kao kemijsko trošenje metalnih i nemetalnih konstrukcijskih materijala, pri čemu njezina brzina ovisi o termodinamičkim i kinetičkim uvjetima, odnosno o unutarnjim i vanjskim činiteljima:

- unutarnji činitelji – sastav materijala, defekti u kristalnoj rešetki, zaostala mehanička naprezanje (nakon oblikovanja deformiranjem i dr.), stanje površine, oblik predmeta
- 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.

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.

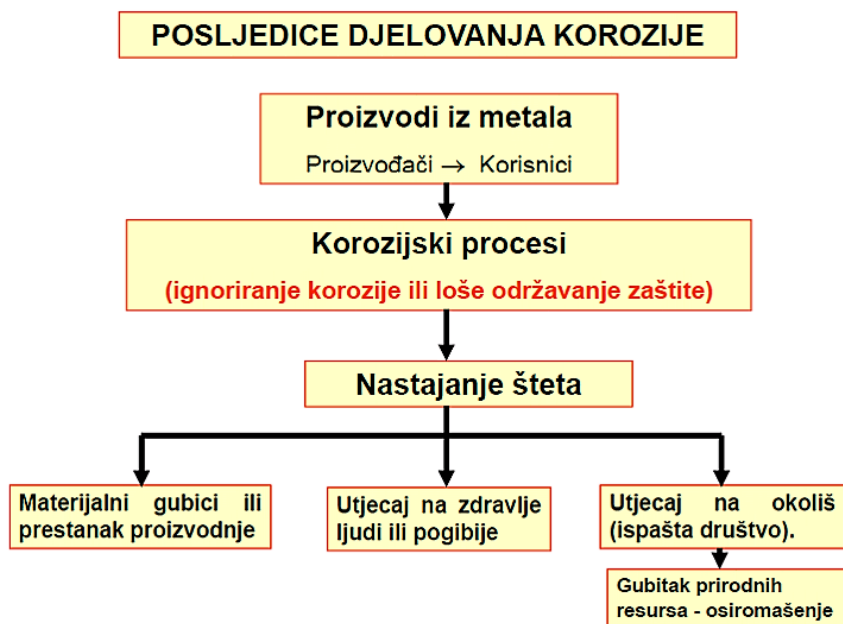
Juraga i sur. (2011.) klasificiraju korozijske procesa shemom prikazanom na slici 1.



Slika 1. Klasifikacija korozijskih procesa (Izvor: Juraga i sur., 2011.)

Štetno djelovanje korozije može uzrokovati brojne negativne posljedice, poput smanjenja uporabne vrijednosti konstrukcijskog materijala, skupljeg održavanja i skraćene trajnosti konstrukcija, zastoja u proizvodnji, nesreća, itd., kao što je prikazano shemom na slici 2.



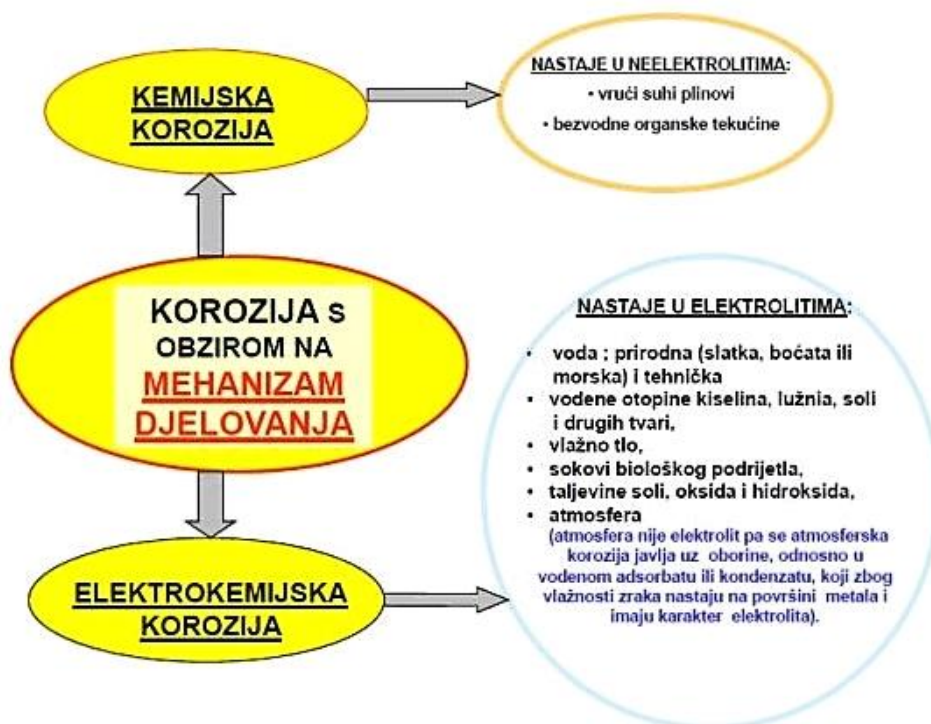


Slika 2. Posljedice djelovanja korozije (Jelić Mrčelić, 2010.)

### 2.1.1. Klasifikacija korozije prema mehanizmu djelovanja

Esih i Dugi (1990. i 1992.), Stupnišek-Lisac (2007.) te Juraga i sur. (2012.) navode da je najvažnija podjela korozije prema mehanizmu djelovanja na dva osnova oblika – kemijsku i elektrokemijsku koroziju.

Navedena podjela može se prikazati shematski, kao na slici 3. (Jelić Mrčelić, 2010.).



Slika 3. Podjela korozije prema mehanizmu djelovanja, (Izvor: Jelić Mrčelić, 2010.)

### 2.1.1.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija nastaje djelovanjem agresivnog kemijskog elementa u neelektrolitima (medijima koji ne provode električnu struju) na površinu materijala. Najčešći neelektroliti koji u praksi izazivaju kemijsku koroziju metala su vrući plinovi i organske tekućine. U kemijsku koroziju ubraja se tzv. plinska korozija koja nastaje kao produkt izgaranja plinova na visokim temperaturama, uz uvjet da su ti plinovi suhi. Do nje može doći kod vruće obrade metala, pirometalurškim i termoenergetskim postrojenjima, u motorima s unutrašnjim sagorijevanjem prilikom izgaranja goriva. Najvažnije tekućine koje ne sadrže vodu su nafta i derivati, otapala za odmašćivanje i razrjeđivanje boja i lakova (Levanić, 2009.).

Lalić i sur. (2013.), Domić i sur. (2011.) te Medica (2010.) ukazuju na primjer izražene problematike visokotemperaturne kemijske korozije dijelova brodskih dizel motora, kao posljedice djelovanja smjese spojeva vanadija, natrija i sumpora koji su u sastavu teških dizelskih goriva. Pritom je najvažniji element sumpor, koji redovito pokreće kemijsku koroziju. Navedeni spojevi izuzetno jako korozijski djeluju na površine dijelova, te po granicama kristalnih zrna i materijalu po dubini. Najčešće napadnuta mjesta su sjedišta ispušnih ventila, a rjeđe i čelo klipa. Slika 4. prikazuje primjere oštećenja sjedišta ventila brodskih dizel motora zbog visokotemperaturne kemijske korozije.



Slika 4. Oštećenja sjedišta ventila zbog kemijske korozije (Medica, 2010.)

### 2.1.1.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija nastaje na metalima i legurama u dodiru s elektrolitima kao što su voda i vodene otopine kiselina, lužina i soli, pri čemu se odvijaju kemijski procesi oksidacije i redukcije. Elektrokemijska korozija je vrlo raširena jer je veliki broj metalnih konstrukcija i postrojenja izložen vodi ili otopinama, vlažnom tlu ili vlažnoj atmosferi. Jedan vid elektrokemijske korozije je atmosferska korozija koja se zbiva uz oborine, odnosno u

vodenom adsorbatu ili kondenzatu koji zbog vlažnosti zraka nastaju na površini metala i imaju karakter elektrolita (Čavka, 2016.).

Slika 5. prikazuje primjer elektrokemijske korozije tračnice i spojeva željezničke pruge.



Slika 5. Elektrokemijska korozija tračnice i spojeva željezničke pruge

(Izvor: <http://www.hausjournal.net/korrosion-von-eisen>)

### **2.1.2. Klasifikacija korozije prema geometrijskom obliku razaranja**

Kao što se vidi iz slike 2., prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja korozija se može klasificirati kao:

1. Opća korozija
2. Lokalna korozija, koja se pojavljuje kao:
  - pjegasta korozija,
  - rupičasta korozija (pitting),
  - potpovršinska korozija,
  - kontaktna korozija, koja može biti galvanska (bimetalna) i korozija u procijepu,
3. Selektivna korozija
4. Interkristalna korozija

U stvarnim uvjetima moguća je istodobna pojava više vrsta korozija, tako da se, primjerice, u praksi uz rupičastu koroziju mogu pojaviti i opća ili pjegasta korozija.

Alar i sur. (2011.) također navode da se, na različitim konstrukcijskim elementima i postrojenjima, često pojavljuju specifične korozijske pojave istodobno s djelovanjem mehaničkih, bioloških i električnih faktora:

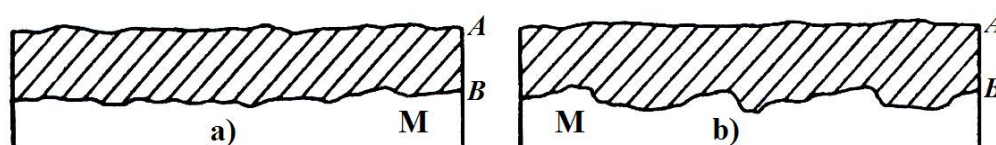
- Uz statička naprezanja nastaje napetosa korozija (eng. stress corrosion), a uz dinamička naprezanja korozijski zamor (eng. corrosion fatigue).

- Uz eroziju ili kavitaciju nastaje erozijska, odnosno kavitacijska korozija.
- Tarna korozija (eng. fretting corrosion) pojavljuje se na dodirnim ploham dvaju dijelova koji su u eksploataciji izloženi smicanju, i to najčešće uz vibracije.
- Biološka korozija ili biokorozija nastaje uz djelovanje metabolizma živih bića na proces (npr. korozija u tlu u prisutnosti anaerobnih bakterija).
- Posebnu vrstu korozije uzrokuju i lutajuće struje u tlu i u vodi.

### 2.1.2.1. Opća korozija

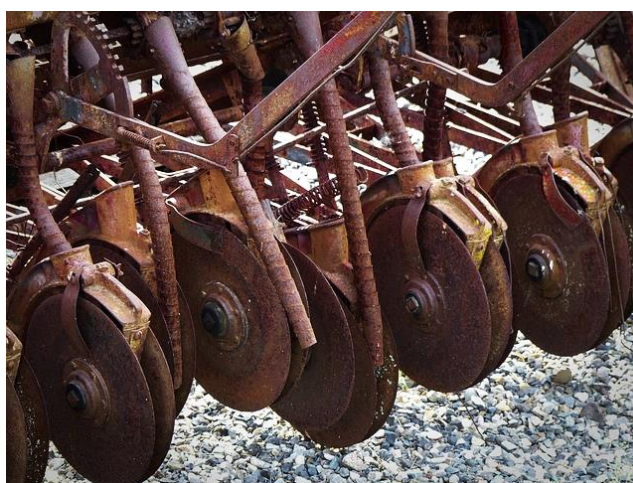
Opća korozija zahvaća cijelu površinu materijala koja je izložena istoj agresivnoj okolini. Ona se dijeli na ravnomjernu i neravnomjernu koroziju.

Alar i sur. (2011.) navode da, mikroskopski gledano, ni ravnomjerna korozija (slika 6.a) nije 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. Ravnomjerna korozija najčešća je na velikim ploham. Neravnomjerna korozija (slika 6.b) opasnija je od ravnomjerne zato što neki dijelovi korodirane površine materijala (M) mogu biti jače napadnuti korozijom.



Slika 6. Shema korozije – (a) ravnomjerne i (b) neravnomjerne (Alar i sur., 2011.)

Slike 7. i 8. prikazuju primjere ravnomjerne i neravnomjerne opće korozije.



Slika 7. Ravnomjerna opća korozija sijačice

(Izvor: <http://www.pd4pic.com/old-rusty-harrow-agriculture-ancient-heritage.html>)

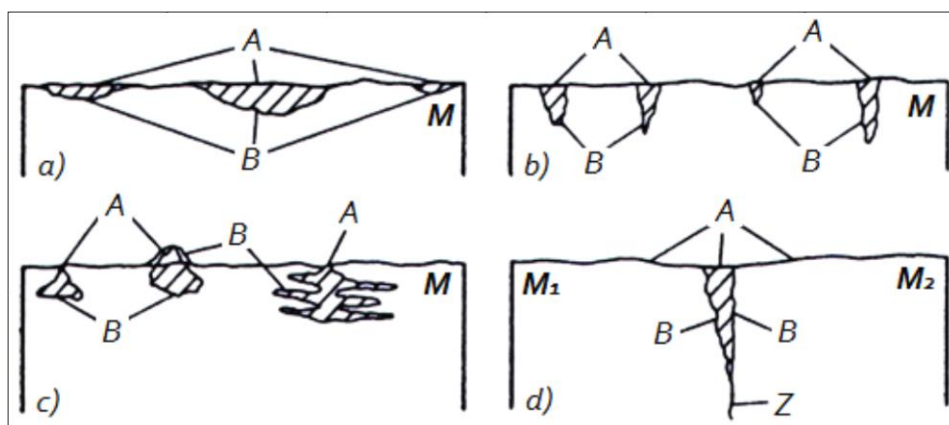


Slika 8. Neravnomjerna opća korozija prskalice (Izvor: Zavod za mehanizaciju PF Osijek)

### 2.1.2.2. Lokalna korozija

Prema Jelić Mrčelić (2010.), lokalna korozija nastaje na mikroskopskoj razini (najčešće na granici zrna materijala) i djeluje ubrzano na samo malom lokalnom području. Pritom zrna materijala predstavljaju katodu, a granice zrna anodu.

Sukladno prethodnom (Alar i sur., 2011.), lokalna korozija se pojavljuje kao pjegasta, rupičasta (pitting), podpovršinska i kontaktna korozija, što je shematski prikazano na slici 9.



Slika 9. Sheme tipova lokalne korozije: a) pjegasta, b) rupičasta, c) potpovršinska, d) kontaktna (Izvor: Alar i sur., 2011.)

Pjegasta korozija najrasprostranjeniji je oblik lokane korozije i napada samo neke dijelove izložene površine materijala (Ovčar, 2016.). Površina metala s izraženom pjegastom korozijom prikazana je na slici 10.



Slika 10. Pjegasta korozija

(Izvor: <https://coxengineering.sharepoint.com/Pages/Corrosion.aspx>)

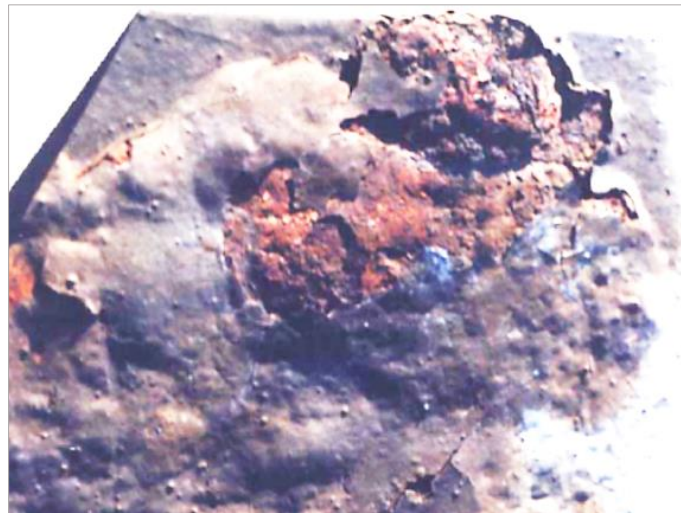
Rupičasta korozija (pitting) nastaje na mjestima na kojima je oštećena zaštita od korozije bilo mehaničkim djelovanjem ili kemijskom degradacijom zaštite. Rupičasta (piting) korozija je najčešći oblik elektrokemijskog razaranja uzrokovanog lokalnom depasivacijom metala koji su uobičajeno u pasivnom stanju poput nehrđajućih čelika (Juraga i sur., 2007.). To je jedan od opasnijih oblika korozije jer se stvaraju rupice u materijalu koje se teže otkrivaju iz razloga što ne dolazi do većeg smanjivanja mase materijala. Rupičastu koroziju teško je mjeriti jer se pojavljuju rupice različitih dimenzija i dubina, ovisno o specifičnim radnim uvjetima. Među najpodložnijim materijalima ovakvoj vrsti korozije nalaze se nehrđajući čelici, koji su iznimno podložni napadu u morskoj vodi ili okolišu koji sadrži velike koncentracije otopine klora i broma, kao što je primjerom prikazano na slici 11.



Slika 11. Rupičasta (pitting) korozija dijela osovine od nehrđajućeg čelika

(Izvor: <http://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>)

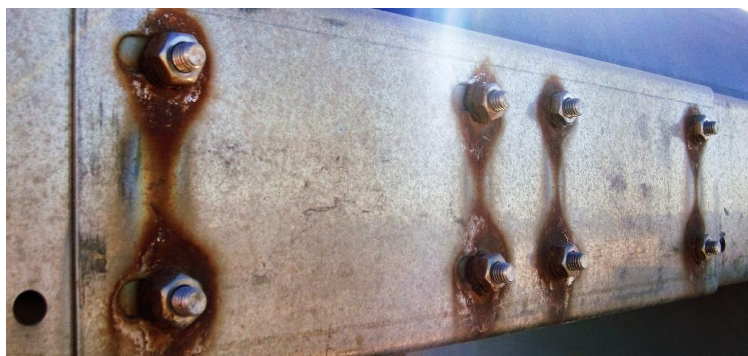
Potpovršinska korozija (slojevita) pojavljuje se u dubljim dijelovima materijala, u žarištima rupičaste korozije, te raslojava sam materijal (Jelić Mrčelić, 2010.). Najčešće se pojavljuje u valjanim materijalima i to u dodiru s morskom vodom i kiselinama. Prepoznaje se po mjehurima na napadnutim područjima uslijed gomilanja čvrstih korozijskih produkata kojima je volumen veći od volumena uništenog materijala. Pojavu potpovršinske korozije treba razlikovati od pukotina koje u materijalu nastaju uslijed napetostne korozije, korozijskog zamora ili vodikove bolesti što se pojavljuje zbog prodiranja vodika u metal. Slika 12. prikazuje primjer mjehuravosti površine materijala zbog potpovršinske korozije.



Slika 12. Površina materijala napadnutog potpovršinskom korozijom (Jelić Mrčelić, 2010.)

Kontaktna korozija dijeli se na galvansku koroziju i procjepnu koroziju (Juraga i sur., 2012.):

- Galvanska korozija nastaje kada se dva različita materijala spoje u električni kontakt, uz prisutnost elektrolita, pri čemu nastaje galvanski članak. U samom galvanskom članku jedan od metala postaje anoda koji korodira većom brzinom od one kojom bi korodirao da nije spojen u galvanski članak, a drugi postaje katoda i korodira manjom brzinom nego da je izvan galvanskog članka. Plemenitiji metal u galvanskom članku postaje katoda i biti će katodno polariziran u odnosu na vlastiti korozijski potencijal u istom korozijskom okolišu. Pravilnim odabirom kombinacije metala koji imaju relativno bliske korozijske potencijale smanjuje se sklonost galvanskoj koroziji. Slika 13. prikazuje primjer galvanske korozije.



Slika 13. Galvanska korozija čeličnog nosača

(Izvor: <https://hongten91.wordpress.com/tag/galvanic-corrosion/>)

- Procjepna korozija slična je rupičastoj koroziji, samo je oblik oštećenja procjep koji nastaje između dva konstrukcijska elementa (slika 14.), zbog razlike u koncentraciji elektrolita. Ako je procijep stvoren na dva različita metala ili ako je talog provodljiv, korozija u procijepu može biti pojačana galvanskim efektima.



Slika 14. Procjepna korozija konstrukcije mosta

(Izvor: <http://www.termarust.com/resources/tp1.php>)

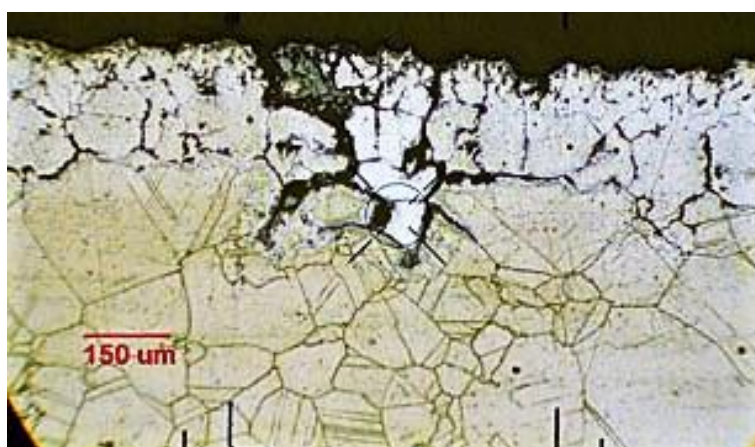
### 2.1.2.3. Selektivna korozija

Selektivna korozija je rijedak oblik korozije pri kojoj dolazi do selektivnog rastvaranja manje plemenite komponente legure (Levanić, 2009.). Pojavljuje se mjestimično na površini i širi se prema unutrašnjosti presjeka materijala ili može započeti negdje u unutrašnjosti napadnute konstrukcije. Najčešći oblik takve korozije je decinkacija, pri čemu je cink izvučen iz mjedenih legura ili bilo kojeg drugog materijala koji ima značajan postotak cinka. Kod materijala izloženog ovoj vrsti korozije ne dolazi do značajne promjene dimenzija, ali je legura znatno oslabljena i postoji velika mogućnost od iznenadne havarije.



#### 2.1.2.4. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija predstavlja oblik lokalne korozije koja razara materijal na granicama zrna šireći se na taj način u dubinu (Jelić Mrčelić, 2010.). Nehrđajući čelici i legure, koji se smatraju korozijski postojanim, najčešće su izloženi ovoj vrsti korozije. To je najopasniji vid korozije jer nastaje veliko pogoršanje mehaničkih svojstava materijala, a dugo ostaje neprimijećena. Materijal je toliko oslabljen da dolazi do loma ili čak do raspada u kristalna zrna. Interkristalne pukotine mogu nastati i kao posljedica napetosne korozije, a pritom pukotine ponekad napreduju i trankristalno. Slika 15. prikazuje primjer presjeka mikrostrukture materijala s izraženom interkristalnom korozijom.



Slika 15. Mikrostruktura materijala s interkristalnom korozijom

(Izvor: [http://www.andersonmaterials.com/electro/electro\\_case\\_study\\_1.html](http://www.andersonmaterials.com/electro/electro_case_study_1.html))

#### 2.1.2.5. Specifični oblici korozije

Napetosna korozija (engl. *SCC – Stress Corrosion Cracking*) selektivni je oblik korozije koji nastaje u tehničkim materijalima zbog istodobnog djelovanja okoline, eksploatacije, mehaničkih naprezanja te korozijskih reakcija (Filetin i sur., 2002.). Najčešće se pojavljuje na hladno deformiranim mjestima ili u okolini zavarenih mjesta zbog zaostalih napetosti.

Napetosna korozija nastaje istodobnim djelovanjem triju čimbenika (osjetljivi materijal, agresivno okruženje, naprezanje), pa postoji više pristupa koji se mogu upotrijebiti za njeno sprječavanje (Horvat i sur., 2011.): pravilnim projektiranjem, izborom materijala i pravilnim konstrukcijskim rješenjima radi izbjegavanja naprezanja. Napukline nastaju okomito na smjer vlačnog naprezanja i šire se interkristalno ili transkristalno, a ne po granicama zrna. Zbog katastrofalnih posljedica koje ovaj oblik korozije može izazvati, svrstava se u jednu od najopasnijih korozija. Uvjeti koji mogu izazvati napetosnu koroziju, ponekad mogu biti

toliko blagi da ne mora biti nikakvih vidljivih upozorenja da je došlo do degradacije materijala. Slika 16. prikazuje oštećenje nastalo napetosnom korozijom.



Slika 16. Primjer oštećenja uslijed napetosne korozije (Izvor: Horvat i sur., 2011.)

Korozijski zamor nastaje na metalima izloženim istovremenom djelovanju cikličkih naprezanja i korozivne okoline. Oštećenje metala i lom događa se brže nego kada djeluju cikličko naprezanje ili korozivna okolina, svaki zasebno. Posljedica je lom koji je vrlo često uzrok katastrofa (Jelić Mrčelić, 2010.). Slika 17. prikazuje primjer korozijskog zamora.



Slika 17. Korozijski zamor dijela osovine

(Izvor: <https://mohammad0044.wordpress.com/corrosion/two-form-of-corrosion/corrosion-fatigue/>)

Erozijska korozija nastaje kada je metal izložen mehaničkoj abraziji i istovremeno korozivnoj okolišnoj atmosferi. Tekućine i plinovi koji teku velikom brzinom kroz cijevi, stvaraju vrtloge u cijevima, uzrokujući koroziju. Mirujući ili sporotekući fluid (tekućina ili plin) rezultirat će niskom ili umjerenom pojavom korozije, ali brzo kretanje fluida fizički

erodira i uklanja zaštitni sloj metala, te otkriva osnovni metal djelovanju korozije. Pijesak ili talog koji se nakuplja pojačava eroziju i ubrzava koroziju. Mehanički udarci također uzrokuju eroziju i oštećuju ili troše zaštitni sloj metala (Čabraja, 2012.). Slika 18. prikazuje primjer erozijske korozije.



Slika 18. Erozijska korozija brtvene površine crpke (Izvor: <http://belzona.hr/tag/erozija/>)

Kavitacijsku koroziju uzrokuje raspadanje mjehurića nastalih u područjima niskog tlaka u cjevovodu. Fluid koji se giba velikom brzinom bit će na svom putu podvrgnut padu tlaka u točki diskontinuiteta. To dovodi do stvaranja mjehurića plina ili pare (kratkotrajne praznine i mjehurići vakuuma) u struji, koji implodiraju prilikom udara u površinu metala i stvaraju udarne valove dovoljno jake da uklone zaštitni film. Na toj mehanički oštećenoj površini je korozija nakon toga znatno ubrzana (Obanijesu, 2010.). Slika 19. prikazuje primjer kavitacijske korozije broskog vijka.



Slika 19. Kavitacijska korozija broskog vijka

(Izvor: <http://www.performanceboats.com/v-drives/102614-prop-question.html>)

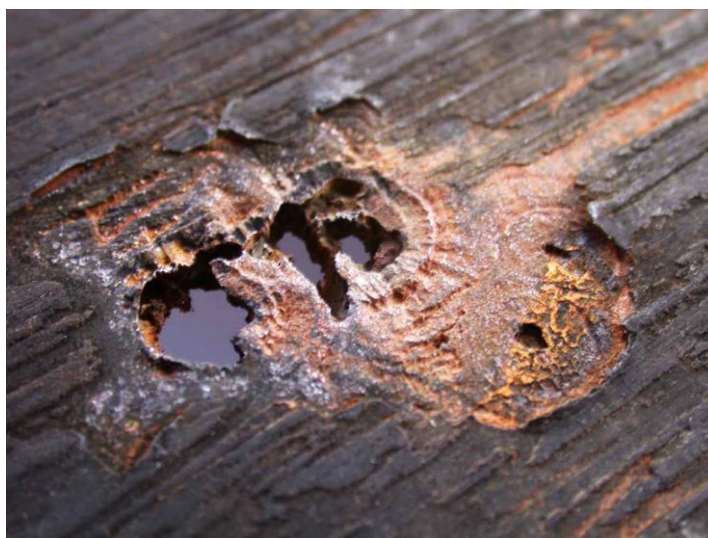
Tarna korozija (engl. *Fretting corrosion*) pojavljuje se na dodirnim plohama dvaju dijelova koji su u eksploataciji izloženi smicanju, i to najčešće uz vibracije (Alar i sur., 2011.). Slika 20. prikazuje primjer tarne korozije.



Slika 20. Tarna korozija vanjskog prstena kotrljajućeg ležaja

(Izvor: [http://www.nskamericas.com/cps/rde/xchg/na\\_en/hs.xsl/fretting.html](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xchg/na_en/hs.xsl/fretting.html))

Mikrobiološki poticana korozija jedan je od najčešćih oblika korozije u vodenim sustavima, posebno u vodeno hlađenim sustavima (Čabraja, 2012.). Moguća je pojava na mjestima kao što su spremnici ulja, na način da u vodenoj fazi koja je tamo prisutna, razviju anaerobne bakterije koje se hrane uljem i benzinom. Vrlo često se mikrobiološki poticana korozija krivo dijagnosticira pa se poduzimaju neodgovarajuće mjere zaštite koje nisu učinkovite. Pojavljuje se kod ugljičnog čelika, lijevanog željeza, bakra i bakarnih legura, nehrđajućeg čelika, nikla, aluminija i betona. Slika 21. prikazuje primjer mikrobiološki poticane korozije.



Slika 21. Primjer mikrobiološki poticane korozije

(Izvor: [http://www.bushman.cc/photos/Another\\_AST\\_Bacterial\\_Corrosion\\_Problem.jpg](http://www.bushman.cc/photos/Another_AST_Bacterial_Corrosion_Problem.jpg))

Korozija uzrokovana lutajućim strujama javlja se na podzemnim objektima, posebno cjevovodima, kao i na poluukopanim spremnicima, koji nisu zaštićeni katodnom zaštitom, pri čemu korodiraju nezaštićeni dijelovi objekta jer postaju anoda. Javlja se i na brodovima u lukama, ako se o toj pojavi ne vodi računa (Jelić Mrčelić, 2010.). Slika 22. prikazuje primjer korozije uzrokovane lutajućim strujama.



Slika 22. Korozija podzemnog spremnika

(Izvor: <http://www.katodnazastita.hr/1/slike/korozija/22a.jpg>)

## 2.2. KOROZIJA POLJOPRIVREDNE TEHNIKE

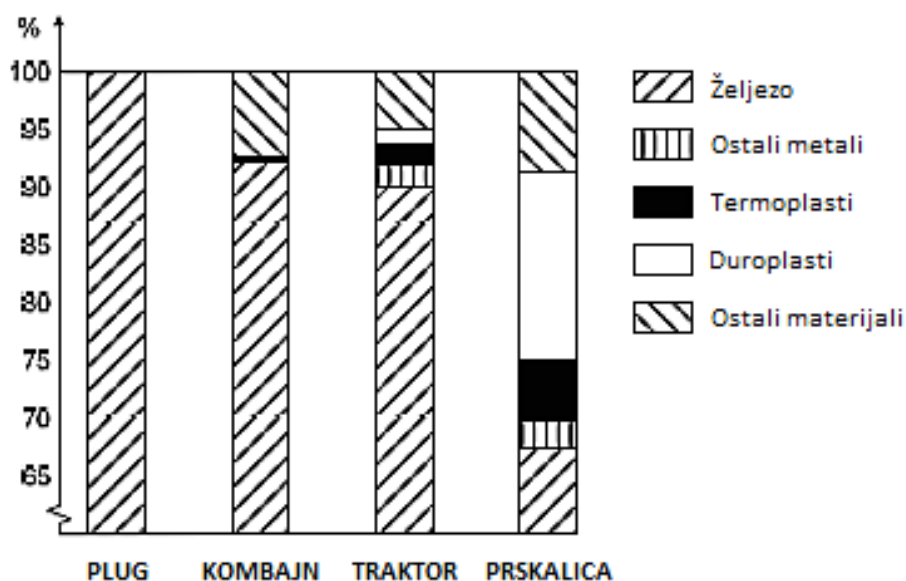
Poljoprivredna tehnika tijekom eksploatacije svakodnevno je izložena negativnom utjecaju radnog okoliša, što rezultira trošenjem radnih dijelova pojedinih strojeva. Takvo trošenje, prema Emertu i sur. (1997.), može nastati kao posljedica:

- abrazijskog trošenja,
- molekularno-mehaničkog trošenja,
- trošenja umorom površine,
- mehaničkog trošenja,
- erozijskog trošenja,
- kavitacijskog trošenja,
- korozivno-mehaničkog trošenja i
- izobličenosti i loma.

Na trošenje dijelova poljoprivrednih alata za obradu tla može bitno utjecati kombinacija korozije s drugim oblicima trošenja takvih alata, prije svega s mehanizmom abrazije radnih

površina alata česticama tla, budući da su iste, osim svojom strukturom i sastavom, definirane i vlažnošću koja potiče razvoj korozije (Heffer i Vujčić, 1996.).

Najveći broj predstavnika poljoprivredne tehnike uglavnom su izrađeni od metala. Iako se u industriji poljoprivrednih strojeva za izradu pojedinih dijelova primjenjuju i različiti nemetalni materijali (polimerni, keramički, kompozitni, ...), metalni materijali su još uvijek najzastupljeniji, prije svega zbog mehaničkih svojstava (čvrstoće, nosivosti, ...). Pri tome je udio metalnih materijala u ukupnoj količini materijala različit, te ovisi o vrsti poljoprivrednih strojeva, kao što se vidi iz grafa na slici 23.



Slika 23. Zastupljenost konstrukcijskih materijala kod nekih poljoprivrednih strojeva (Heffer i sur., 1998.)

Karakteristike radnog okoliša koji okružuje dijelove poljoprivredne tehnike tijekom njihove primjene vrlo su specifične i doprinose nastanku različitih oblika korozije koje mogu izazvati brojne štetne posljedice. Tomu u prilog ide i prethodno navedena činjenica da su u poljoprivrednoj tehnici najzastupljeniji metalni materijali, budući da su metali izrazito podložni koroziji. Različita mehanička oštećenja, površinski talozi, promjene radne temperature te različiti drugi fizikalni i kemijski čimbenici mogu uzrokovati brzo razaranje ne samo metalnih dijelova strojeva, nego mogu negativno utjecati i na dijelove izrađene od drugih tehničkih materijala.

Opsežni pregled problematike korozije strojeva i uređaja u poljoprivredi dao je Wiederholt, (1973.), naglasivši da korozija u poljoprivredi postaje sve važniji problem, kome se treba posvetiti puno pozornosti. Ukazao je na to da se uobičajena kemijska opterećenja strojeva,

uređaja i potrošnog materijala putem zraka, vode i tla dodatno povećavaju uslijed zagađenja, te korištenja prirodnih i umjetnih materijala za povećavanje prinosa, zaštitu bilja i deratizaciju. Učinkovite protumjere pritom se mogu poduzeti tek kad se pojasne uzroci korozije u svakom pojedinom slučaju. Kao temeljni čimbenici korozije strojeva i uređaja u poljoprivredi navode se atmosfera, voda i tlo, a kao specifični čimbenici navode se prirodne tvari i/ili kemikalije koje se pojavljuju u određenoj vrsti poljoprivredne proizvodnje. Iste djeluju na materijale, od kojih su izrađeni strojevi i uređaji, samostalno ili, češće s kratkim rokom uporabe, zajedno s atmosferom, vodom ili zemljom. Posebno se ističu korozijske tvari iz sastava stočne hrane i dodataka istoj, te naročito mineralna gnojiva i sredstva za zaštitu bilja.

Schouten i Gellings (1987.) ukazuju na to da korozija u poljoprivrednim sredinama općenito može biti vrlo teška i različita. Kao primjer navode zapažanja o koroziji u poljoprivrednim objektima za uzgoj stoke, ističući da se ista može usporediti s onom u teško onečišćenoj gradskoj atmosferi ili s atmosferom u kemijskoj industriji. Također navode da se u različitim poljoprivrednim aktivnostima naširoko primjenjuju sve vrste agresivnih kemijskih spojeva, poput gnojiva, kemikalija protiv štetnika, bolesti i za suzbijanje korova (herbicidi i pesticidi), silažnih konzervansa za zaštitu žitarica, soli i slabih kiselina, sterilizacijskih kemijskalija za čišćenje, te otopine koje sadrže sulfate i kloride. I drugi elementi koji se pojavljuju u poljoprivrednoj proizvodnji, kao što su gnojivo, poljoprivredni otpad, sokovi trava, te silaža i gnojnica mogu biti vrlo korozijski agresivni. Razaranje metala, koji se primjenjuju u izradi poljoprivrednih strojeva i opreme, obično rezultira različitim oblicima korozije: općom korozijom, rupičastom korozijom, korozijskim zamorom, napetosnom ili kontaktnom korozijom, itd.

Augustin i Ščerbejová (2003.) ističu da su radne operacije u poljoprivrednoj proizvodnji specifično polje sa gledišta korozije i njezine kontrole. Korozijska agresivnost ovih operacija ovisi o sredinama u kojima se izvode, te dosežu visok, a ponekad čak i najviši stupanj korozije, pa je to razlog zašto se mora koristiti kvalitetna i otporna površinska zaštita. Kao korozijski najagresivnije sredine navode se sljedeće:

- Primjena industrijskih gnojiva i agrokemikalija stvaraju jednu je od korozijski najagresivnijih sredina, gdje kemijske tvari dolaze u neposredan dodir s metalnim površinama, a korozija je dalje podržavana vlagom. Vijek trajanja komponenti koje su u direktnom kontaktu s gnojivima je oko 2-3 godine. Vijek trajanja postrojenja i strojeva je 4 do 5 godina.

- Prostor za uzgoj životinja predstavlja sredinu čija korozijska agresivnost ovisi o vrsti i intenzitetu uzgoja, te utjecaju na strojeve i građevinske objekte. To je vrlo specifična sredina u kojoj su glavne korozivne tvari amonijak i vlaga, pri čemu brzina korozije ugljičnog čelika iznosi 25-50  $\mu\text{m}$  godišnje.
- Priprema silaže stvara specifičnu sredinu s anaerobnom vodikovom depolarizacijom, u kojoj su glavne korozivne tvari organske kiseline.
- Poljoprivredna obrada tla odvija se u sredini na čiju korozijsku agresivnost utječu vrsta i svojstva tla (ilovasta tla, pješčana tla, itd.), a glavni agensi su kemijske tvari, vlaga i zrak koji se nalaze u tlu.

Brkić i sur. (2005.) navode da skoro svi materijali s kojima poljoprivredni agregati dolaze u doticaj i rade s njima imaju izraženo korozijsko svojstvo, odnosno da se procesom hrđanja (kemijska promjena) troši materijal radnih dijelova strojeva. Korozijsko svojstvo vezano je za kemijske spojeve u materijalu koji se obrađuje. Posebno ističu gnojivo, bez obzira koje vrste (prirodno ili mineralno), tlo, maziva koja starenjem dobivaju korozijsko djelovanje i drugo. Također naglašavaju da se korozijsko djelovanje nekih materijala pojačava povećanjem vlažnosti materijala (tlo, biljni ostaci, ...).

Eker i Yuksel (2005.) također ističu da je korozija jedan od najvažnijih problema u primjeni poljoprivrednih strojeva, koji bitno smanjenje radni vijek poljoprivrednih strojeva. Autori navode da uzroci korozije poljoprivrednih strojeva i opreme mogu biti različite komercijalne kemikalije koje se koriste u poljoprivredi, uključujući gnojiva, sjemenski materijal, silažne konzervanse, kemikalije protiv štetnika, bolesti i korova, te kisele otopine za čišćenje mliječne opreme. Otpad s farmi i gnojnice također mogu biti značajno korozivni.

Božić i Radojević (2008.) navode da korozijska sredina u kojoj se primjenjuje poljoprivredna mehanizacija nije jednoznačno određena svojim karakteristikama, nego se vrlo razlikuje ovisno o: mjestu rada, čuvanja i skladištenja strojeva, tehnološkim operacijama koje se s njima izvode, režimima rada, meteorološkim uvjetima, itd. Ona je vrlo specifična i ima promjenjive karakteristike koje ovise o korozivnosti zemljišta, sastava zemljišnih otopine, atmosferskih djelovanja, vlažnosti zraka, prisutnosti mikroorganizama, mineralnih gnojiva i drugih komponenata koje su korozivne ili u reakciji s nekim drugim tvarima prave korozive. Čimbenici korozijske sredine doprinose nastanku različitih korozijskih oblika mehanizmima kemijske i/ili elektrokemijske korozije koje mogu izazvati različite štetne posljedice. Ovo ukazuje na složenost problema korozije i njegove specifičnosti vezane za zaštitu sredstava poljoprivredne mehanizacije od korozije.



Isti autori također navode da u praksi do korozije pojedinih dijelova poljoprivredne mehanizacije može doći u pet slučajeva:

1. korozijska zaštita ima kraći vijek trajanja od vijeka trajanja dijela,
2. nekvalitetno izvedena korozijska zaštita,
3. odstranjena je korozijska zaštita sa dijela, utjecajem čimbenika koji su uzrokovani obavljanjem funkcije dijela u okviru funkcioniranja određenog sklopa,
4. odstranjena je korozijska zaštita sa dijela, utjecajem vanjskih čimbenika koji su uzrokovani obavljanjem funkcije dijela u tehnološkom procesu,
5. odstranjena je ili oštećena korozijska zaštita dijela, neželjenim utjecajem vanjskih čimbenika (oštećenja različitog stupnja).

### 2.3. ZAŠTITA OD KOROZIJE

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.

Korozijski procesi u suštini su spontani procesi između metala i komponenata okoline pri čemu metali prelaze u termodinamički stabilnije stanje. Korozija tako neminovno smanjuje uporabnu vrijednost metala, pa tako i proizvoda koji su napravljeni od njega. Iz tog razloga vrlo je bitna pravovremena i pravilno odabrana metoda zaštite od korozije.

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

1. Elektrokemijske metode zaštite
  - Katodna zaštita
  - Anodna zaštita
2. Zaštita promjenom okolinosti
  - Uklanjanjem aktivatora korozije
  - Inhibitorima korozije
3. Primjena korozijski postojanih materijala
4. Konstrukcijsko-tehnološke mjere
5. Zaštita prevlakama

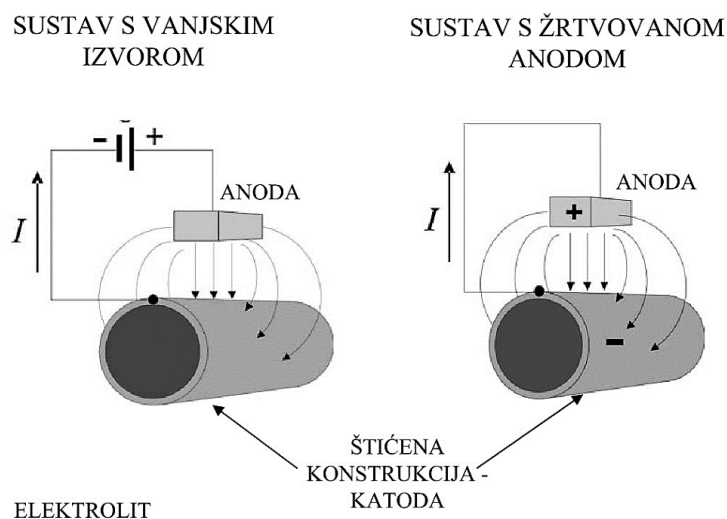
### 2.3.1. Elektrokemijske metode zaštite

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 (Levanić, 2009.).

#### 2.3.1.1. Katodna zaštita

Katodna zaštita je najznačajnija metoda zaštite od korozije u elektrolitima, koja se temelji na usporavanju korozije katodnom polarizacijom metala tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala u negativnom smjeru (Levanić, 2009.).

Alar i sur. (2011.) navode da se katodna zaštita može ostvariti spajanjem s negativnim polom vanjskog izvora struje u zatvorenom strujnom krugu ili kontaktom objekta s neplemenitijim metalom koji predstavlja žrtvovanu anodu. Slika 24. prikazuje oblike katodne zaštite.



Slika 24. Oblici katodne zaštite (Izvor: Belov, 2009.)

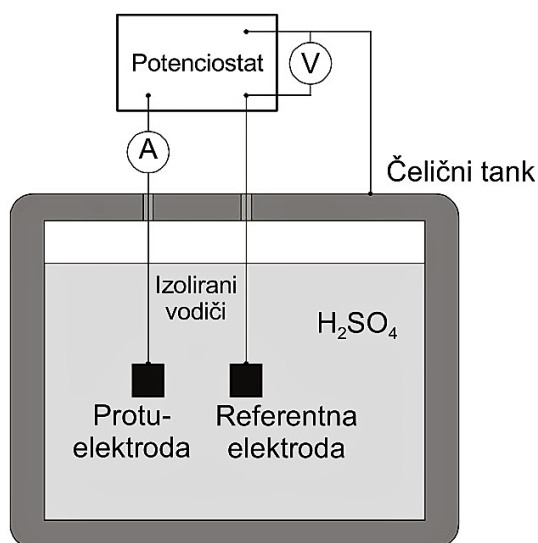
Primjena katodne zaštite uvelike ovisi o objektu kojega se štiti, tako da za stacionarne objekte češće koristi metoda s vanjskim izvorom struje, dok se kod pokretnih objekata i sustava gdje postoji opasnost od iskrenja i zapaljenja medija češće koristi metoda s žrtvovanom elektrodom (Čavka, 2016.).

Primjena katodna zaštite vrlo je široka u zaštiti od korozije različitih metalnih konstrukcija ukopanih u tlo, ugrađenih u beton i uronjenih u vodu, koje moraju zadržati svoju funkciju

više desetaka godina. Primjerice, to su: cjevovodi svih namjena, kao što su magistralni vodovodi, naftovodi, plinovodi, produktovodi, razvodne i gradske mreže, tlačni cjevovodi posebnih objekata (hidro, termo i atomske centrale), toplovodi i izmjenjivači topline, zaštitni cjevovodi na prometnim prijelazima, podzemni i nadzemni spremnici raznovrsnih materijala, bušotine, bunari, piloti (piloni, šipovi), platforme, armature u betonu, temeljna i prednapregnuta sidra (ankeri), reaktori atomskih centrala, brodovi, itd. (Alar i sur., 2011.).

### 2.3.1.2. Anodna zaštita

Anodna zaštita ostvaruje se spajanjem metalnih konstrukcija sa pozitivnim polom izvora istosmjerne struje ili sa metalom čiji je elektrokemijski potencijal pozitivniji od potencijala metala koji se zaštićuje. U oba slučaja metalne konstrukcije ponašaju se kao anode. Tako formirane anode u početku se otapaju, a kasnije dolazi do njihovog pasiviranja. Period otapanja metala treba da bude što kraći kako bi se što prije stvori zaštitni sloj (Alar i sur., 2011.). Slika 25. prikazuje primjer anodne zaštite čeličnog spremnika (Belov, 2009.).



Slika 25. Anodna zaštita čeličnog spremnika spajanjem s vanjskim izvorom istosmjerne struje (Belov, 2009.).

Anodna zaštita ima ograničeno područje primjene i susreće se samo u nekim specijalnim slučajevima. Najčešće se primjenjuje za zaštitu čeličnih konstrukcija u jakoj oksidacijskoj sredini (npr. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) u kojoj nisu prisutni ioni koji djeluju kao aktivatori. Pri anodnoj zaštiti prijete opasnost da se polarizacijskim naponom prijeđe gornja granica iznad koje dolazi do razaranja formiranog zaštitnog sloja i intenzivne korozije metala (Alar i sur., 2011.).

### **2.3.2. 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. Smanjenje korozivnosti vanjske sredine koja djeluje na metale i legure provodi se na dva načina:

- uklanjanjem aktivatora korozije iz agresivne sredine,
- uvođenjem inhibitora korozije u agresivnu sredinu.

#### **2.3.2.1. Uklanjanje aktivatora korozije iz agresivne sredine**

Aktivatori korozije i sastojci koji povećavaju agresivnost korozivne sredine uklanjaju se:

- neutralizacijom kiselina,
- uklanjanjem kisika iz vode,
- uklanjanjem soli iz vode,
- snižavanjem relativne vlažnosti zraka i
- uklanjanjem čvrstih čestica.

Neutralizacija kiselina u vodenim otopinama obavlja se pomoću vapna ili natrijeva hidroksida. Deaeracija vode ili vodenih otopina postiže se zagrijavanjem, desorpcijskim uklanjanjem kisika, kemijskim postupkom (dodavanjem redukcijskih sredstava u vodu ili propuštanjem vode kroz filtre napunjene čeličnim strugotinama) i dr. Soli prisutne u vodi uklanjaju se ionskim izmjenjivačima. Uklanjanje vlage iz zraka u malim zatvorenim prostorima provodi se silikagelom (npr. sušenje zraka u instrumentima). Filtriranjem se uklanjaju čvrste čestice iz vode, zraka ili dima (Levanić, 2009.).

#### **2.3.2.2. Uvođenje inhibitora korozije u agresivnu sredinu**

Prema Čavki (2016.) primjena inhibitora za smanjenje brzine širenja korozije vrlo je raznolika. U nekim granama industrije primjena inhibitora korozije smatra se prvom linijom obrane od korozije, kao na primjer u procesnoj i naftnoj industriji.

Inhibitori se definiraju kao tvari koje dodane u malim količinama u agresivni medij mogu uvelike doprinijeti smanjenju intenziteta širenja korozije. Mnoge znanstvene studije se bave primjenom inhibitora u zaštiti materijala od korozije. No najviše znanja o inhibitorima i njihovom djelovanju se dobilo primjenom metode pokušaja i pogrešaka u laboratorijima i

na terenu. Pravilan izbor inhibitora je vrlo važan podatak, ako se zna da pojedini inhibitor zaustavlja koroziju samo za određeni sustav medij/metal.

Stupnišek-Lisac (2007.) ukazuje na postojanje različitih metoda klasifikacije inhibitora, te navodi neke od glavnih podjela inhibitora:

- Podjela inhibitora prema sastavu i svojstvima – mogu se svrstati u više kategorija, i to: organske i anorganske, alkalne i neutralne, hlapljive i nehlapljive, oksidirajuće i neoksidirajuće i dr.
- Podjela inhibitora prema sigurnosti – mogu biti sigurni i opasni. Ova klasifikacija se odnosi na vrstu korozije koja će nastupiti kada koncentracija inhibitora padne ispod minimalne vrijednosti. Sigurni inhibitor omogućiti će nastavak jednolikog tipa korozije s brzinom ne većom od one u neinhibiranom sustavu, dok će opasni inhibitor omogućiti pojačanu koroziju, lokaliziranu i u mnogim slučajevima gorom nego u odsutnosti inhibitora.
- Podjela inhibitora prema mehanizmu djelovanja – mogu biti anodni (koče anodnu reakciju), katodni (koče katodnu reakciju), mješoviti (koče i anodni i katodni proces). S tehničkog pogleda ovo je najzanimljivija podjela.

### **2.3.3. Primjena korozijski postojanih materijala**

Izbor materijala u tehnološkom procesu prilikom izrade konstrukcija jedan je od najvažnijih i najsloženijih zadataka s kojima se susreću konstruktori jer se pravilnim izborom materijala direktno utječe na trajnost i sigurnost konstrukcije.

U pravilu se odabire korozijski postojaniji materijal zbog ekonomski isplativijeg i konkurentnijeg finalnog proizvoda. Korozijski je postojaniji onaj materijal kod kojeg, u jednakim vanjskim uvjetima, dolazi do manje intenzivnog razaranja na površini ili do neželjenih promjena u mikrostrukturi. Izbor odgovarajućeg materijala ovisi o nizu faktora, kao što su: mehanička svojstva, očekivani vijek trajanja, estetski izgled, korozijska postojanost i cijena (Levanić, 2009.).

Huljev, (2008.) navodi da se primjenom korozijski postojanih metala nastoji smanjiti afinitet za nastajanje korozije. Izbor odgovarajućeg materijala ovisi o nizu faktora, kao što su: mehanička svojstva, očekivani vijek trajanja, estetski izgled, korozijska postojanost i cijena.

#### 2.3.4. Konstrukcijsko-tehnološke mjere

Na usporavanje korozijskog procesa može se utjecati različitim konstrukcijsko-tehnološkim mjerama. Pritom se ne radi o aktivnostima koje se mogu prikazati sustavno jer nije riječ o šablonskom poslu nego se svakom rješenju pristupa uz primjenu teorije zaštite od korozije.

Esih i Dugi (1992.) navode da se tijekom procesa konstruiranja proizvoda, u svrhu što djelotvornije zaštite od korozije, treba se pridržavati sljedećih smjernica:

- pri izboru konstrukcijskog materijala, odnosno kombinacije takvih materijala, obratiti pozornost na korozijsko ponašanje u predvidivim okolnostima,
- pri dimenzioniranju elemenata uzeti u obzir opće i lokalno smanjenje dimenzija zbog korozije u tijeku željenog vijeka trajanja,
- pri određivanju oblika i položaja pojedinog elementa, odnosno međusobnog položaja i načina spajanja dvaju ili više elemenata, birati rješenja koja bilo lokalno, bilo posvuda smanjuju afinitet za koroziju, povećavaju otpore njegovu djelovanju ili pak olakšavaju provedbu zaštitnih postupaka,
- pri utvrđivanju kvalitete površine predvidjeti što je moguće glađe plohe koje će biti u dodiru s vrlo korozivnim sredinama.

Levanić (2009.) navodi da se pravilnim oblikovanjem čeličnih konstrukcija te različitim rješenjima koja se primjenjuju u projektiranju, kao i tehnologijom izrade mogu se značajno smanjiti korozijski procesi. Navedenim mjerama moguće je utjecati na koroziju u procjepu, galvansku koroziju, erozijsku i napetosnu koroziju. U tom smislu treba voditi računa o:

- projektiranju konstrukcija kod kojih je zadržavanje vode i tekućina smanjen na minimum,
- što više upotrebljavati korozijski postojaniji materijal,
- izbjegavati mehanička naprezanja zbog smanjenja opasnosti od napetosne korozije,
- izbjegavati lokalna zagrijavanja jer se korozija ubrzava porastom temperature,
- racionalno kombinirati konstrukcijske materijale i mjere zaštite,
- za toplinske uređaje predvidjeti odgovarajući sustav hlađenja konstrukcijskog materijala

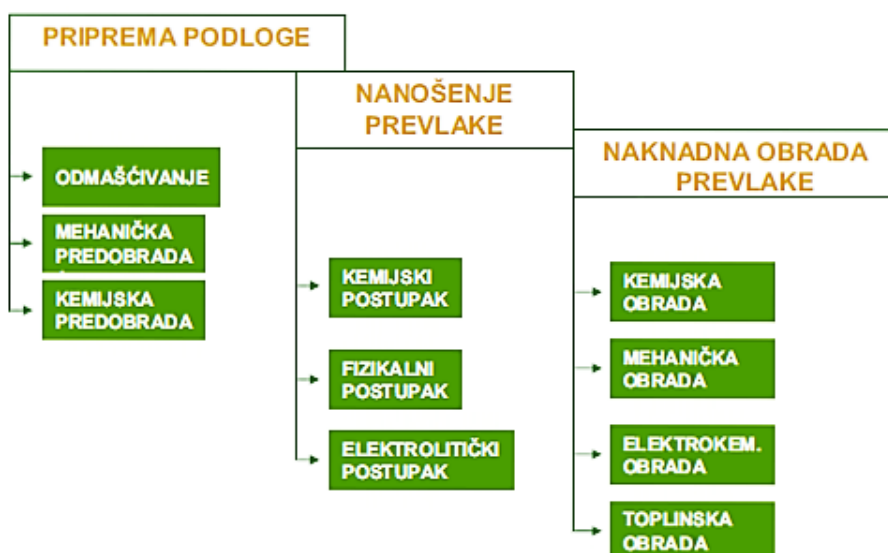
Navedene konstrukcijske mjere treba koristiti što je moguće više, da bi se usporili korozijski procesi i produžio vijek trajanja konstrukcija te postigla projektirana korozijska postojanost.

### 2.3.5. Zaštita prevlakama

Alar i sur. (2011.) te Juraga i sur. (2012.) ukazuju na to da je nanošenje raznih prevlaka na površinu konstrukcijskih materijala jedna od najraširenijih korozivskih zaštita. Osnovna uloga nanošenja raznih prevlaka na konstrukcije je zaštita od korozije, a pritom se dodatno mogu popraviti estetski dojam i neka fizikalna svojstva.

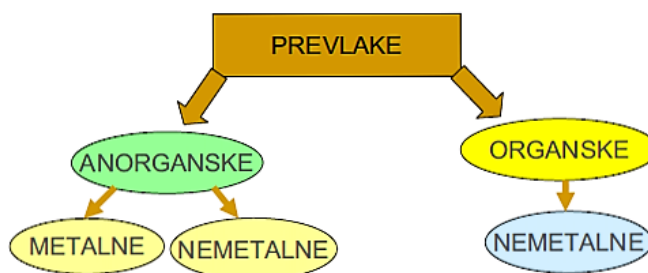
Zaštitno djelovanje prevlaka ovisi o vrsti prevlake, njenoj debljini, o stupnju kompaktnosti i čvrstoći prijanjanja, te postupku samog nanošenja koji uključuje predobradu metalne površine za prevlačenje.

Juraga i sur. (2011.) ukazuju na složenost zaštite materijala prevlačenjem, koja se sastoji od pripreme podloge, nanošenja i naknadne obrade prevlake, u okviru čega je obuhvaćeno više postupaka, kao što je prikazano shemom na slici 26.



Slika 26. Postupci pripreme podloge, nanošenja i obrade prevlake (Izvor: Juraga i sur., 2011.)

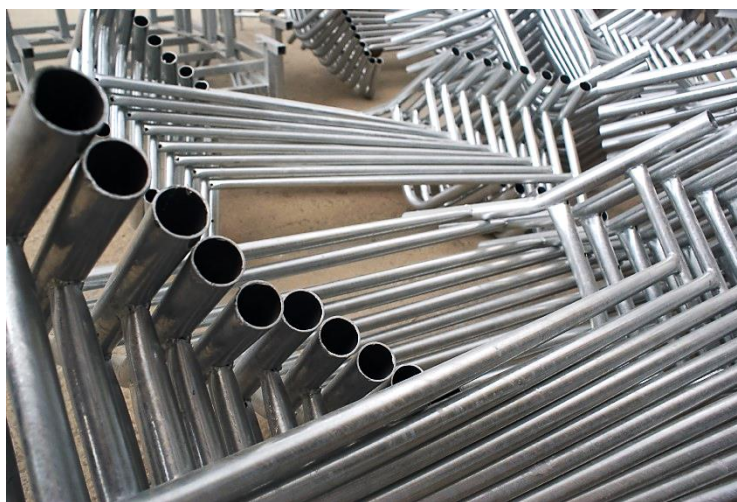
Isti autori također navode da se prevlake koje se koriste za zaštitu metala mogu podijeliti na anorganske i organske, kao što je prikazano shemom na slici 27.



Slika 27. Vrste prevlaka za zaštitu metala (Izvor: Juraga i sur., 2011.)

### 2.3.5.1. Anorganske metalne prevlake

Prema Alar i sur. (2011.), metalne prevlake koriste se kada je uz antikorozivnu zaštitu važno da osnovni materijal koji se štiti ima metalni karakter. tj. da prevlakom materijal dodatno dobije na čvrstoći, tvrdoći, sjaju, toplinsku ili električnu vodljivost. Postupci nanošenja metalnih prevlaka su: vruće uranjanje, difuzijske metalizacije, metalizacije prskanjem, fizikalne i kemijske metalizacije iz parne faze, metode oblaganja, galvanotehnike, ionske izmjene i katalitičke redukcije. Metalne se prevlake mogu nanositi uranjanjem osnovnog materijala u talinu pokrivnog metala. Za ovaj način zaštite moraju biti ispunjena dva osnovna uvjeta: da osnovni metal ima mnogo više talište od pokrivnog i da se oba metala legiraju bilo međusobnim otapanjem ili tvorbom intermetalnih spojeva. Na površini podloge nastaje legura, predstavljajući sloj taline koja se hlađenjem skrutnjava. U pravilu je ta legura krhka, pa je tim bolje da je u što tanjem filmu jer teže dolazi do mehaničkih oštećenja. Dobivanje kvalitetne prevlake moguće je samo ako talina kvasi sve obrađene plohe koje moraju biti besprijekorno čiste. Vrućim se uranjanjem nanose prevlake cinka, kositra, olova, olovnih legura i aluminija i to obično na ugljični čelik ili lijevano željezo. Primjer navedenog prevlačenja prikazuje slika 28., na kojoj su čelični proizvodi prevučeni cinkom (pocinčani).



Slika 28. Pocinčani čelični proizvodi (Izvor: <http://www.hausjournal.net/eisen-verzinken>)

### 2.3.5.2. Anorganske nemetalne prevlake

Čabraja (2012.) navodi da su anorganske nemetalne prevlake su mehaničkim ili kemijskim putem nastali filmovi ili slojevi odgovarajućeg kemijskog spoja na površini metala.

Prema Alar i sur. (2011.) te Juraga i sur. (2012.) emajliranje je najpoznatiji i najvažniji mehanički postupak zaštite anorganskom nemetalnom prevlakom. Temelji se na stvaranju



sloja borosilikatnog stakla na metalnoj površini. Te prevlake se koriste za zaštitu metala od korozije u vrlo agresivnim sredinama. Pri kemijskom nanošenju anorganskih prevlaka osnovni metal obično sudjeluje u stvaranju prevlake, čime se osigurava dobro prijanjanje. Zaštićeni metali dobivaju ovim postupkom drugu boju koja je rezultat kemijske reakcije između metala i komponenata same okoline. Na taj način nastaje umjetno izazvana korozija jer se stvaraju prevlake korozijskih produkata koje djeluju zaštitno. Kemijskim procesima u kojima sudjeluje metal podloge dobivaju se različite oksidne, fosfatne, kromatne i druge konverzijske prevlake.

Slika 29. prikazuje primjenu postupka emajliranja na primjeru kuhinjskog posuđa.

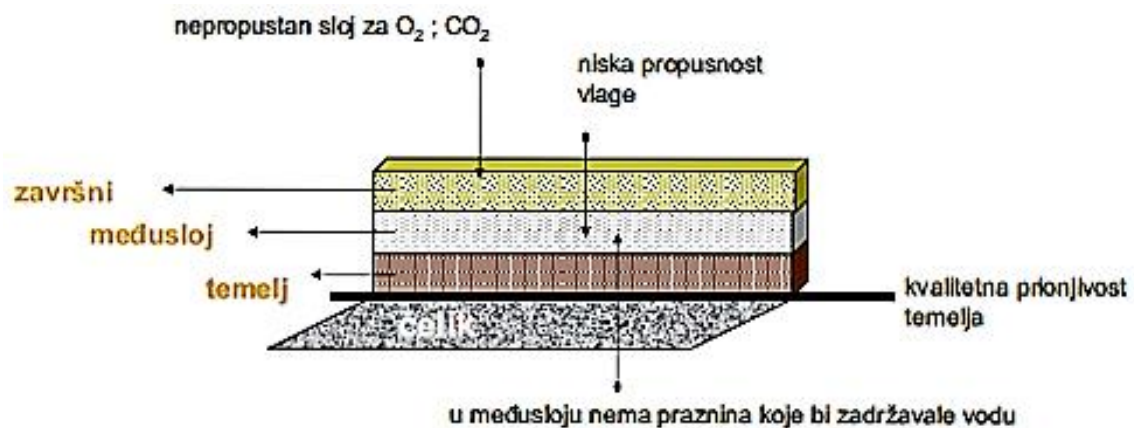


Slika 29. Emajlirano posuđe (Izvor: [http://www.promometal.hr/emajl\\_kategorije.html](http://www.promometal.hr/emajl_kategorije.html))

#### 2.3.5.3. Organske prevlake

Juraga i sur. (2012.) ističu da nezamjenjivu ulogu u zaštiti metalnih konstrukcija od korozije imaju organske prevlake (premazi). Zaštita premazima jedan je od najčešćih oblika zaštite, jer ima relativno nisku cijenu u odnosu na druge metode zaštite od korozije. Premazi se, osim primjene u zaštitne svrhe, upotrebljavaju i zbog poboljšanja estetike. Postoje i premazi koji, osim zaštitne funkcije, imaju i neke druge uloge kao na primjer premazi za električnu izolaciju, premazi za označavanje, protupožarni premazi i dr. Cilj upotrebe premaza je da razdvoji metalnu podlogu od okoliša pa oni moraju biti dovoljno otporni i trajni u uvjetima eksploatacije, tako da je najvažnije tehničko svojstvo premaza njihova trajnost.

Prema Juraga i sur. (2011.), sustav zaštite premazima sastoji se od više slojeva premaza. Prvo se nanosi temeljni sloj, zatim jedan ili više međuslojeva i na kraju završni sloj, kao što je prikazano na slici 30. Svaki od nanesenih slojeva ima određenu ulogu u postupku zaštite.



Slika 30. Sustav zaštite metala organskim premazima (Izvor: Juraga i sur., 2011.)

#### 2.4. ZAŠTITA POLJOPRIVREDNE TEHNIKE OD KOROZIJE

Schouten i Gellings (1987.) ukazuju na to da postoje niz mjera i postupaka za sprječavanje i kontrolu korozije u poljoprivredi, te da nedovoljna zaštita od korozije dovodi do propadanja konstrukcijskog metala, što konačno rezultira različitim tehničkim problemima s bitnim gospodarskim posljedicama. Kao neke od mjera zaštite od korozije u poljoprivredi navode primjenu anorganskih ili metalnih prevlaka i boja, katodnu zaštitu, primjenu pocinčanog čelika, nehrđajućeg čelika ili metala otpornog na koroziju, te posebno naglašavaju važnost redovitog čišćenja nakon upotrebe i dobro skladištenje strojeva, primjenu (nakon sušenja) ulja ili masti, kratkoročno inhibirajućih ulja, maziva i brtvila.

Na značaj konzervacije poljoprivrednih strojeva u vremenu kada su izvan primjene ukazuju Emert i sur. (1995.) ističući da ista ima za cilj spriječiti i usporiti negativan utjecaj korozije, sunčeve radijacije, kemijskih utjecaja iz atmosfere, itd. Pritom naglašavaju da je izloženost poljoprivrednih strojeva negativnom utjecaju uvelike posljedica specifičnih uvjeta rada, jer:

- većina poljoprivrednih strojeva ima sezonski karakter,
- u radnoj sredini nalazi se velik broj čimbenika koji utječu na nastajanje korozije i ostalih oblika oštećenja,
- održavanju poljoprivrednih strojeva tijekom eksploatacije poklanja se malo, tj. nedovoljno pažnje.

Autori također navode da tehnička zaštita poljoprivrednih strojeva ne podrazumijeva samo konzervaciju poslije radne sezone, već i u samoj tvornici te nakon svakog popravka. Često novi strojevi nisu kvalitetno zaštićeni u samoj tvornici, što može dovesti do djelovanja korozije prije početka primjene. Nakon obavljenog popravka, svi zaštićeni dijelovi moraju

se ponovno zaštititi. Pravilno izvedena zaštita mora osigurati ispravnost stroja za sljedeću radnu sezonu. Vijek jednog stroja može se produžiti nekoliko puta (do 15 puta) ispravnim postupkom konzervacije.

Na slično su ukazali Brkić i sur. (2005.), navodeći da se korozijsko djelovanje okoline na radne dijelove poljoprivrednih strojeva smanjuje kvalitetnom zaštitom sljedećim načinima:

- Čišćenjem neposredno poslije završenog rada i to do suhe površine;
- Premazivanjem različitim antikorozijskim sredstvima (najčešće na bazi fosfora) ili bojanjem;
- Primjenom materijala koji nisu osjetljivi na koroziju (plastične mase).

Augustin i Ščerbejová (2003.) opisuju primjenu sredstava za privremenu kratkotrajnu zaštitu poljoprivrednih strojeva od korozije (izvan sezone) koja se može ostvariti na sljedeće načine:

- Promjenom uvjeta skladištenja proizvoda, tj. smanjivanjem sadržaja komponenata s agresivnim učincima korozije u okolnoj atmosferi (prosušivanje prostora);
- Sprječavanjem ili smanjenjem pristupa sastavnica okoliša s agresivnim učincima korozije na površini proizvoda, strojeva ili postrojenja primjenom konzervirajućih tvari koje stvaraju zaštitni sloj na površini.

U tom smislu navode primjenu različitih tvari, poput konzervirajućih ulja, voskova, vazelina, emulzija, privremenih lakova i materijala za prevlačenje, kao i sredstava za kontrolu radne atmosfere, poput sredstava za vezanje vode, hlapivih inhibitora, itd. Takva kratkotrajna sredstva poboljšavaju trajnu antikorozijsku zaštitu, a njihova primjena završava nakon određenog roka, te mogu biti uklonjena s površine nekog dijela ili cijelog stroja na lakši način nego organski ili metalni premazi, bez oštećenja trajne antikorozijske zaštite.

Božić i Radojević (2008.) ističu da je formiranje prevlaka bojama i lakovima najpristupačniji, pa samim time i najrašireniji, te najčešće primjenjivani postupak antikorozijske zaštite poljoprivredne mehanizacije. Također navode da se zaštita dijelova poljoprivrednih strojeva od korozije može se provoditi tehničkim mastima i uljima. Ulja i masti se obično koriste kao jednostavan način za zaštitu vanjskih i unutarnjih nebojenih površina radnih dijelova strojeva za obradu tla, kao npr: raonika pluga, plućnih daski, motičica, itd. Zaštita je privremena (kratkoročna) i provodi se na kraju sezone. Ukoliko se zaštititi pristupa neposredno poslije završenog rada, tada nije potrebna posebna priprema površine jer su radni dijelovi dobro istrugani česticama tla, pa je potrebno samo temeljno pranje i sušenje. Međutim, dužim stajanjem na zraku ili nakon čišćenja i pranja ove površine postaju vrlo podložne koroziji, pa je neophodno zaštititi ih u što kraćem roku.

Masti i ulja mogu se nanositi četkom sa mekanim i dugim vlaknima ili pištoljem za nanošenje istih. Posebno je važno ne koristiti rabljeno motorno ulje, jer je sastav istoga nepoznat nakon obavljene funkcije u motoru. Dijelove, čije su površine zaštićene mastima ili uljima, treba smjestiti u zatvoreni prostor ili bar pod nadstrešnicu. Na otvorenom prostoru dijelovi su izloženi atmosferskim padalinama koje mogu isprati zaštitu, kao i utjecaju prašine i drugih nečistoća koje se lijepe na zaštitni sloj, te mogu dodatno poticati koroziju.

Trifunović i sur. (2009.) navode da postoje različiti sustavi za antikorozijsku zaštitu poljoprivrednih strojeva (traktora, kombajna, priključnih uređaja, itd.). Većinom se koriste sredstva za prevlačenje, najčešće u tekućem stanju, koja se nanose na pripremljenu metalnu podlogu i nakon određenog vremena prelaze u čvrsto stanje formirajući prevlaku. Kao najkvalitetniji osnovni premazi u praksi su se pokazali standardni tankoslojni epoksidni premazi, katran epoksidi, kao i epoksidi bogati cinkom. Novije generacije epoksida su debeloslojni epoksidni premazi koji pružaju izvanredna zaštitna svojstva kao i uštedu vremena u izvođenju radova. Poliuretanski premazi na bazi akrilnih izocijanata pokazali su izvanredna svojstva otpornosti na atmosferske utjecaje, a poliesterni izocijanat jedan je od najkvalitetnijih završnih premaza, jer, osim što ima dobru otpornost na atmosferske utjecaje, ima i izvanrednu kemijsku otpornost. Pri tome autori ističu da su dvokomponentni sustavi premaza kvalitetnije i prije svega dugotrajnije rješenje u odnosu na jednokomponentne premaze koje odlikuje jednostavnost u radu, ali imaju kraći vijek trajanja. Bitno je da odabrani sustav zaštite, osim osnovne funkcije (kvalitetna zaštita od korozije), treba ispuniti i ekološke zahtjeve, odnosno spriječiti onečišćenje okoliša. Autori također ukazuju na to da se odabir zaštitnih sredstava za poljoprivredne strojeve i način njihove primjene obavlja prema sljedećim čimbenicima:

- vrsti stroja, odnosno dijelu stroja koji se treba zaštititi (strojevi se razvrstavaju prema stupnju korozije na neobojenim dijelovima, te prema stupnju korozijskog oštećenja obojenih dijelova),
- razdoblju za koje stroj treba biti konzerviran (kratki period do 3 mjeseca i duži period preko 12 mjeseci),
- uvjetima smještaja, odnosno skladištenja (zatvoreni prostor, nadstrešnica, otvoreni prostor).

Poljoprivredne strojeve koji su angažirani samo u kampanji, a određeno vrijeme godine su pohranjeni u hangarima ili ispod nadstrešnica, neophodno je oprati i nezaštićene dijelove zaštititi od djelovanja korozije.

### 3. MATERIJAL I METODE

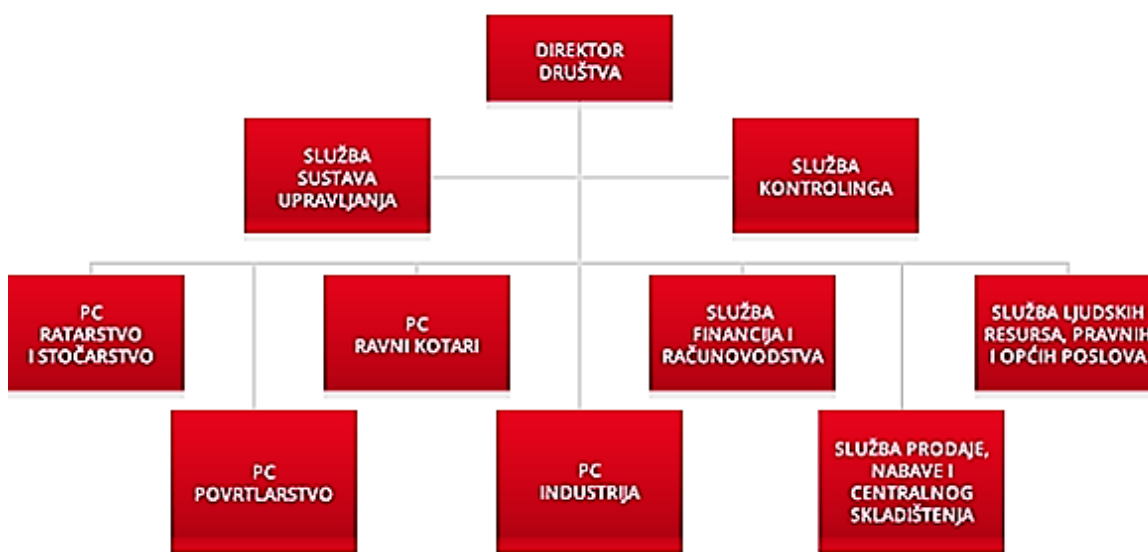
Istraživački dio rada obavljen je u tvrtki PIK Vinkovci, trgovačkom društvu sa sjedištem u Vinkovcima, koje je osnovano 1962. godine, a u sustav koncerna Agrokor je ušlo 1994. godine. Poslovanje društva organizirano je u okviru profitnih centara:

- PC Industrija,
- PC Ratarstvo i stočarstvo,
- PC Povrtlarstvo,
- PC Ravni Kotari,

Osim toga, u tvrtki su ustrojene i funkcije podrške:

- Uprava,
- Služba financija i računovodstva,
- Služba prodaje, nabave i centralnog skladištenja i
- Služba ljudskih resursa, pravnih i općih poslova.

Struktura tvrtke PIK Vinkovci prikazana je shemom na slici 31.



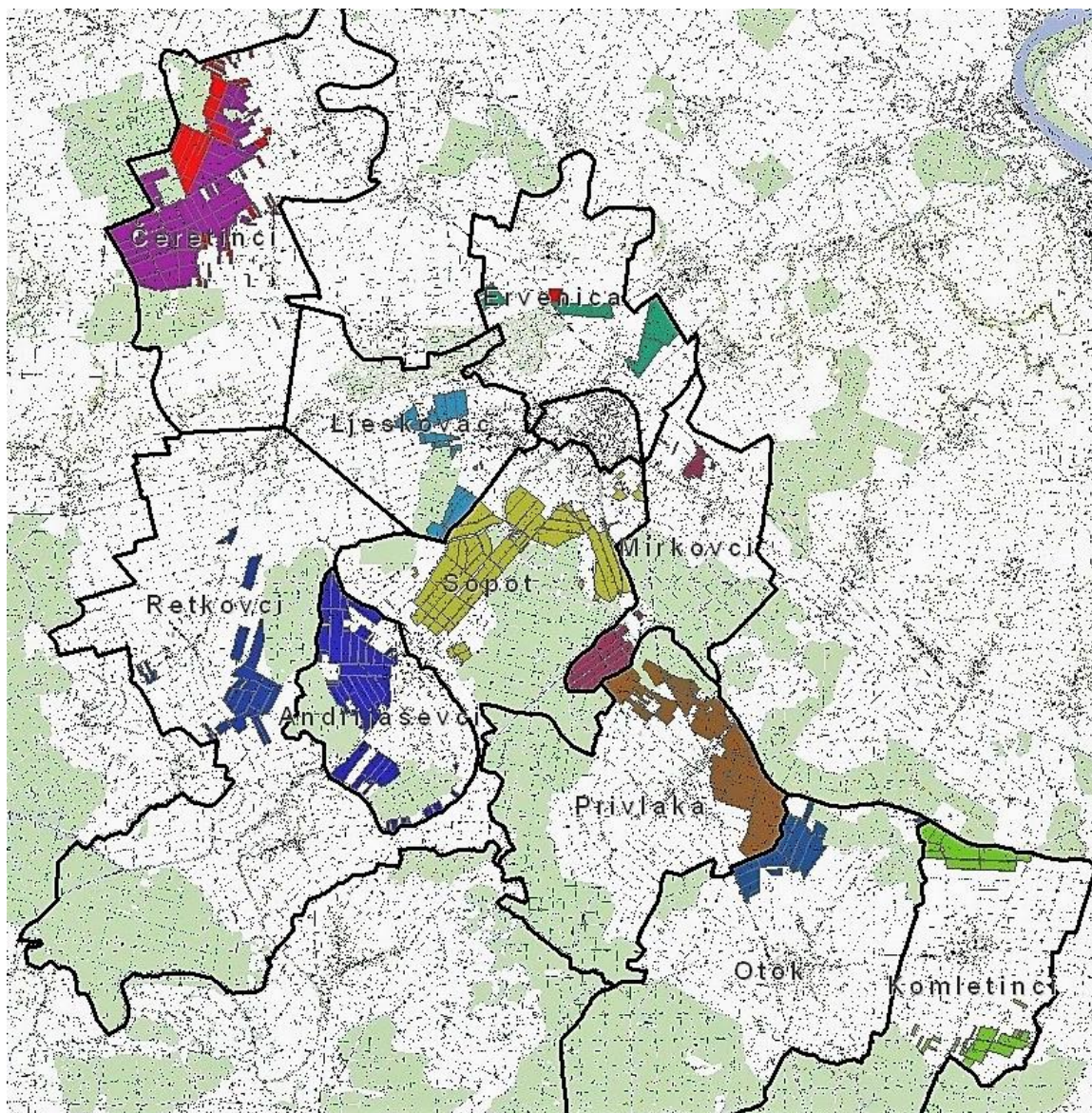
Slika 31. Struktura tvrtke PIK Vinkovci

(Izvor: <http://www.pik-vinkovci.hr/o-nama/struktura-tvrtke/>)

Osnovna djelatnost tvrtke je primarna proizvodnja ratarskih i povrtlarskih kultura, prerada, sušenje i skladištenje žitarica i uljarica, dorada sjemenskog materijala, proizvodnja industrijskog bilja, skladištenje, prerada i pakiranje voća i povrća, te stočarska proizvodnja. Primarna ratarska i povrtlarska proizvodnja raspolažu s prvoklasnim oranicama na oko 6000 ha na području Vukovarsko-srijemske (VSŽ), Osječko-baranjske (OBŽ) i Zadarske županije

(ZŽ), u klimatskom području koje je idealno za primarnu ratarsku i povrtnarsku proizvodnju.

Slika 32. prikazuje obradive površine na području VSŽ i OBŽ.



Slika 32. Obradive površine PIK-a Vinkovci na području VSŽ i OBŽ

(Izvor: Arhiva PIK-a Vinkovci)

Prema skladišnim kapacitetima od ukupno 86.800 tona i kapacitetima za prijem robe u silose i sušenje, tvrtka se ubraja među najveće u Republici Hrvatskoj. Također, tvrtka raspolaže značajnim skladišnim kapacitetima za povrće od oko 12.000 tona.

Tvrtka ima uspostavljen sustav upravljanja kvalitetom kroz međunarodne norme: ISO 9001, ISO 14001, HACCP, OHSAS 18001, Global G.A.P., ISCC i Danube Soya.

Za obavljanje svoje osnovne djelatnosti, tvrtka raspolaže poljoprivrednom tehnikom koja je popisana u tablici 1.

Tablica 1. Popis poljoprivredne tehnike tvrtke PIK Vinkovci (Izvor: Arhiva PIK Vinkovci)

Redni broj	Vrsta stroja	Broj strojeva	Redni broj	Vrsta stroja	Broj strojeva
1.	Adapteri za kukuruz	4	24.	Priključne kosilice ST	5
2.	Adapteri za repicu	4	25.	Prikolice ST	69
3.	Adapteri za strnine	4	26.	Prskalice ST	20
4.	Adapteri za suncokret	6	27.	Raspodjeljivači mineralnog gnojiva ST	8
5.	Agregati	34	28.	Rasturači stajnjaka ST	4
6.	Berači samohodni	1	29.	Ravnjači TT	5
7.	Buldožerske daske TT	1	30.	Rotodrljače i drljače TT	8
8.	Gredičari TT	2	31.	Sijačice i sadilice ST	19
9.	Kanalokopači ST	3	32.	Sijačice TT	1
10.	Kombajni repni	7	33.	Sitnilice biljnih ostataka ST	13
11.	Kombajni za povrće	5	33.	Sjetvospremači TT	10
12.	Kombajni žitni	8	34.	Strojevi za krumpir ST	1
13.	Kosilice samohodne	22	35.	Strojevi za kupus ST	1
14.	Kultivatori ST	17	36.	Strojevi za luk ST	4
15.	Labudice ST	2	37.	Strojevi za reduciranu obradu tla TT	4
16.	Ostala oprema za navodnjavanje	48	38.	Strojevi za uzimanje uzoraka tla ST	1
17.	Ostali poljoprivredni strojevi	5	39.	Strojevi za vađenje povrća ST	7
18.	Ostali priključci ST	8	40.	Šišači metlica	2
19.	Ostali uređaji za traktore	13	41.	Tanjurače TT	14
20.	Plugovi TT	26	42.	Traktori srednji	49
21.	Podrivači TT	16	43.	Traktori teški	17
22.	Pokretne radionice ST	1	44.	Utovarivači samohodni	10
23.	Prese ST	2			
<b>Ukupni broj poljoprivrednih strojeva i uređaja</b>					<b>511</b>

U provedbi istraživanja primijenjena je metoda studija slučaja za odabrane predstavnike poljoprivredne tehnike. Za analizu korozijskih pojava odabrani su strojevi i uređaji koji su najjače izloženi koroziji. Obavljen je njihov vizualni pregled, te prikupljanje podataka o oblicima korozije koji nastaju tijekom njihove eksploatacije, uzrocima i učincima istih pojava, kao i primjeni neposrednih mjera antikorozijske zaštite radnih dijelova. Kao iznimno važno, analizirano je i garažiranje poljoprivredne tehnike tijekom razdoblja mirovanja.

## 4. REZULTATI

### 4.1. KOROZIJA I ZAŠTITA OD KOROZIJE POLJOPRIVREDNE TEHNIKE

#### 4.1.1. Okretni plug Överum Xcelsior EX 6975 F

Plug je osnovno oruđe za obradu tla. Njime se tlo okreće po cijeloj širini zahvata i dubini oranja, pri čemu se tlo istovremeno prorahljuje, usitnjava i prozračuje, te se u njega unose biljni ostaci i korov. Slika 33. prikazuje vučeni okretni plug Överum Xcelsior EX 6975 F. Glavne karakteristike pluga su: radna širina 210-330 cm, 6 radnih tijela, težina oko 2320 kg.



Slika 33. Okretni plug Överum Xcelsior EX 6975 F (foto: I. Andrić)

Koroziji su najjače izloženi sljedeći dijelovi okretnog pluga: plužna tijela (lemeš, odgrnjača, crtalo, pero odgrnjače, peta, plaz), okvir pluga i uređaj za priključivanje.

Koroziju pluga uzrokuje atmosfera, te prvenstveno tlo, budući da se tijekom oranja plug giba kroz tlo, pri čemu u spoju s kisikom i vlagom u tlu nastaje korozija. Dodatno, abrazijsko trošenje površine pluga potpomaže učinku korozije. Kao što se vidi na prikazanoj slici, korozijom su najviše zahvaćena plužna tijela, pri čemu na njima dominira opća ravnomjerna korozija. Na ostalim dijelovima pluga pojava korozije je bitno manja, a ponekad nastaju i njezini drugi oblici (okvir pluga – napetosna na mjestima zavarenih spojeva i kontaktna na vijčanim spojevima, uređaj za priključivanje – korozijski zamor priključnih elemenata, itd.).

Zaštita pluga provodi se u nekoliko koraka:

- Nakon primjene plug treba dobro očistiti – najbolje ga je oprati vodom pod jakim mlazom i zatim prebrisati suhom krpom.



- Zaštititi radne dijelove pluga (može i cijeli plug) premazivanjem antikorozijskim sredstvom – primjenom antikorozijskih sredstava ne oštećuje se postojeća boja na plugu, a postiže se odgovarajuća antikorozijska zaštita.
- Po potrebi, obaviti novo premazivanje zaštitnom bojom na mjestima oštećenja stare boje. Pritom je bitno dobro pripremiti površinu za novo bojanje. Ako se uoči korozija ispod stare boje, mogu se primijeniti kemijska sredstva za skidanje stare boje, tako da se istima premažu obojane površine, ostavi se 2-3 sata da sredstvo djeluje, a zatim se stara boja ukloni mehaničkim načinom (žičana četka, kružna žičana četka s tanjom ili upletenom žicom na brusilici ili bušilici i sl.). Površine s kojih je skinuta stara boja treba oprati vrućom vodom, te izbrisati krpom natopljenom nitro-razrjeđivačem. Na tako pripremljenu površinu može se nanijeti novi premaz zaštitne boje.

#### 4.1.2. Podrivač McConnell 3M Vibro Aerator

Podrivač se koristi za razrahljivanje tla, pogotovu onog koje nije dulje vrijeme pravilno obrađivano, razbijanje zbijenosti tla na dubini ispod razine tradicionalnog korištenja tanjurače ili drljače, te prozračivanje tla i rješavanje zaostalog korijenja biljaka. Slika 34. prikazuje podrivač McConnell 3M Vibro Aerator. Riječ je o vibracijskom radnom stroju s metalnim paker valjkom, spojenim u tri točke, a vibraciju prenosi kardansko vratilo. Radni zahvat stroja je 3m, a na okviru podrivača spojeno je 5 radnih tijela (zupci, dlijeta).



Slika 34. Podrivač McConnell 3M Vibro Aerator (foto: I. Andrić)

Koroziji su najjače izloženi sljedeći dijelovi podriivača: radna tijela podriivača, tijelo paker valjka, okvir i uređaj za priključivanje.

Osim utjecaja vlage iz atmosfere, glavni uzrok korozije je tlo zbog svoje vlažnosti, sadržaja biljnih ostataka i abrazivnosti. Prevladava opća ravnomjerna korozija koja najviše zahvaća radna tijela podriivača (zupce) i paker valjak. Vidljive su i pojave opće korozije na spojevima okvira i radnih dijelova podriivača, gdje se pojavljuju i slučajevi korozijskog zamora zbog vibracija zubaca tijekom podriivanja tla. Isti tip korozije pojavljuje se i na priključnim dijelovima. Okvir, koji je izrađen zavarivanjem, izložen je napetosnoj koroziji na spojevima.

Zaštita od korozije provodi se kao u slučaju plugova, pravodobnim čišćenjem, pranjem i sušenjem radnih dijelova, zatim nanošenjem antikorozijske zaštite, te obnavljanjem površinskog sloja boje, ukoliko za to postoji potreba.

#### **4.1.3. Teška tanjurača Kongskilde Terra-X-7000**

Teška tanjurača Kongskilde Terra-X-7000 vučena je hidraulična tanjurača koja ima sljedeće karakteristike: 16 ležajeva, 56 diskova promjera 660 mm, transportna širina 3m, radna širina 7 m, težina bez valjaka 5540 kg. Tanjurača ima centralno rame, a radni dijelovi su konkavni dijelovi (tanjur, diskovi) koji su nanizani na osovine koje se okreću zajedno s diskovima. Na slici 35. prikazana je tanjurača Kongskilde Terra-X-7000.



Slika 35. Teška tanjurača Kongskilde Terra-X-7000 (foto: I. Andrić)

Koroziji su najjače izloženi sljedeći dijelovi tanjurače: radni diskovi, čistači tanjurače, ležajevi osovine tanjurače, okvir i uređaj za priključivanje.

Koroziju većine dijelova uzrokuje radna okolina, a najviše tlo, svojim svojstvima i sastavom, te smjesa prašine i maziva kod ležajeva osovine. Radni diskovi uglavnom su zahvaćeni općom ravnomjernom korozijom, kod nedovoljno zaštićenih ležajeva povremeno se pojavljuju slučajevi tarne korozije, a kod uređaja za priključivanje korozijski zamor.

Zaštita tanjurače od korozije provodi se postupcima koji su identični zaštiti plugova i podrivača, pri čemu se posebna pozornost posvećuje pravodobnosti provođenja postupaka.

#### 4.1.4. Sjetvospremač Kongskilde Germinator SP7000

Sjetvospremači su poljoprivredni strojevi koji se koriste za brzu pripremu tla za sjetvu u jednom prolazu.

Kongskilde Germinator SP7000 vučeni je stroj s hidrauličnim sklapanjem bočnih baterija. Sjetvospremač ima radni zahvat od 7 m, a u transportu je širine 3 m. Dužina mu je u radnom položaju 6,2 m, a u transportnom 5,7 m. Radna dubina mu je 8 cm, sa ukupno 135 „S“ pera, a težina sjetvospremača je 2500 kg. Slika 36. prikazuje navedeni sjetvospremač.



Slika 36. Sjetvospremač Kongskilde Germinator SP7000 (foto: I. Andrić)

Koroziji su najjače izloženi sljedeći dijelovi sjetvospremača: elastične motičice na bateriji sjetvospremača, ravnjači, čelične spirale na valjcima, ležajevi kotača, okvir i uređaj za priključivanje.

Glavni uzrok korozije je radna okolina, kako atmosferska vlažnost tako još više tlo svojom vlažnošću i abrazivnošću, te sadržajem biljnih ostataka. Zahvaćenim radnim dijelovima sjetvospremača dominira opća ravnomjerna korozija. Spojni dijelovi (čelične spirale, vijčani spojevi,...) i priključni elementi izloženi su korozijskom zamoru, uslijed čega se pojavljuju i slučajevi pucanja (lomova) istih dijelova. Ležajeve kotača ponekad zahvaća tarna korozija, ukoliko nisu dobro zabrtvljeni i zaštićeni mazivom.

Zaštita od korozije provodi se redovitim čišćenjem stroja, ispiranjem vodom pod mlazom i antikorozijskom zaštitom. Obojane metalne površine, ukoliko je boja mehanički oštećena, dotrajala ili kroz nju probija korozija, poslije pranja i sušenja čiste se od korozije struganjem i zatim zaštićuju novim premazom boje.

#### **4.1.5. Vučeni rasipač mineralnog gnojiva RCW P-5500**

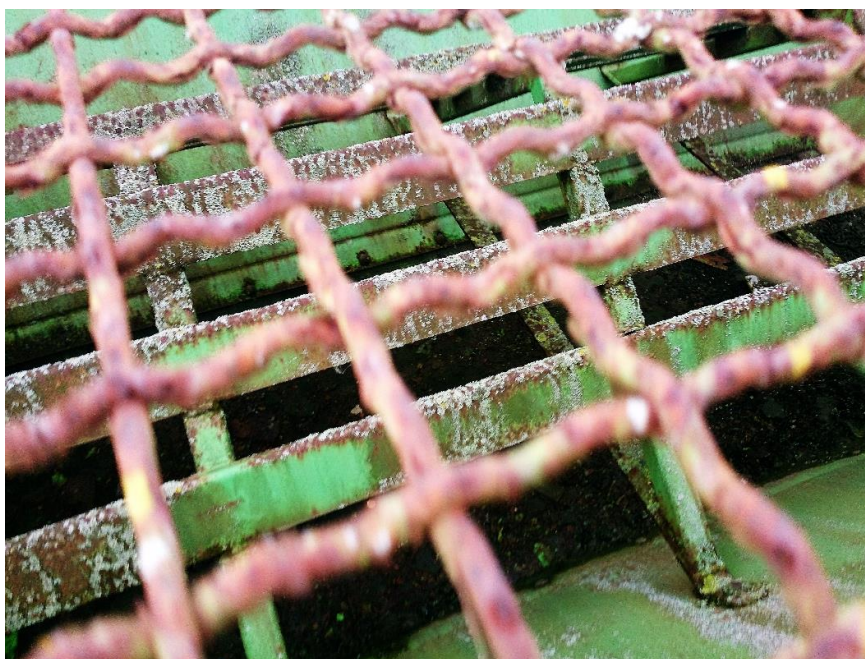
Vučeni rasipač mineralnog gnojiva RCW P-5500 obavlja centrifugalno izbacivanje i rasipanje čestica mineralnih gnojiva putem dvije okretne radne ploče koje u radu imaju suprotan smjer vrtnje. Prednost ovog rasipača je veliki radni zahvat u rasponu 10-36 m, a nedostatak to što nema uređaj za pokazivanje širine radnog zahvata, pa je spajanje susjednih prohoda prepušteno vozaču. Radni zahvat izravno ovisi o brzini izbacivanja čestica gnojiva, te je veći što je veća brzina izbacivanja. Rasipač ima spremnik (sanduk) kapaciteta 5500 kg, a njegova ukupna težina iznosi 2540 kg. Dimenzije rasipača su sljedeće: dužina 5,70 m, širina 2,20 m i visina 2,23 m. Slika 37. prikazuje rasipač mineralnog gnojiva RCW P-5500.



Slika 37. Vučeni rasipač mineralnog gnojiva RCW P-5500 (foto: I. Andrić)

Koroziji su najjače izloženi sljedeći dijelovi rasipača: spremnik za gnojivo, transportni uređaj za gnojivo, mješač gnojiva, okretne radne ploče, ležajevi kotača i uređaj za priključivanje.

Kao i kod drugih strojeva koji funkcioniraju na otvorenom, koroziju na rasipaču uzrokuje okolina (atmosfera) svojom vlažnošću, no najjači je utjecaj umjetnih (mineralnih) gnojiva koja su po svom sastavu soli različitih minerala (dušika, fosfora, kalija, magnezija, kalcija, natrij, itd.). Takve soli nastaju kemijskim reakcijama u kojima sudjeluju jake kiseline (dušična, fosforna, sumporna, klorovidična). Stoga kemikalije iz gnojiva značajno nagrizzaju površine dijelova s kojima su u dodiru, oštećujući antikorozijsku zaštitu, te omogućujući koroziji da lakše zahvaća materijal. To se posebno odnosi na spremnik za gnojivo, te naročito na rešetke spremnika (gornja i donja) koje služe za razbijanje grumenja gnojiva i u cijelosti su izložene najjačem korozijskom i nagrizzajućem utjecaju kemijskih sastojaka u sastavu gnojiva. Slika 38. prikazuje rešetke spremnika rasipača mineralnog gnojiva.



Slika 38. Rešetke spremnika rasipača mineralnog gnojiva (foto: I. Andrić)

Spremnik za gnojivo s unutrašnje strane uglavnom je izložen općoj neravnomjernoj koroziji, čiji intenzitet djelovanja ovisi o tome koliko je u kontaktu s gnojivom. Istom obliku korozije izloženi su i ostali prethodno navedeni dijelovi koji su u kontaktu s gnojivom. S vanjske strane spremnika vidljive su i pojave potpovršinske korozije koja je uzrokovana napetosnom korozijom na mjestima zavarenih spojeva rešetki i okvira spremnika, kao i korozijskim zamorom koji je nastao uslijed udaraca po rešetkama tijekom usipavanja gnojiva u rasipač.

Ležajevi kotača ponekad su zahvaćeni tarnom korozijom u slučaju slabog brtvljenja svojih kućišta i/ili loše zaštite odgovarajućim mazivom. Priključni dijelovi izloženi su tijekom rada korozijskom zamoru koji može uzrokovati njihov lom.

Zaštita od korozije provodi se na više načina koji su u praksi PIK-Vinkovci pristupačne i lako izvodljive. Uglavnom je riječ o grubom čišćenju i pranju vrućom vodom pod visokim tlakom, i to odmah nakon primjene. Oprane površine se suše, nakon čega se pristupa uklanjanju nastale korozije mehaničkim čišćenjem i kemijskim tretiranjem površina. Mehaničko čišćenje izvodi se mehaničkim sredstvima, najčešće čeličnim četkama, s ciljem da se dobije čista, metalno sjajna površina. Pritom se uglavnom koriste čelične četke sa žicom promjera 0,2-0,4 mm. Kemijsko tretiranje površina upotpunjuje mehaničko čišćenje, uklanjajući produkte korozije koji se nisu mogli ukloniti mehaničkim čišćenjem, a temelji se na reakciji korozijskih produkata i određenog kemijskog sredstva. Površine dijelova rasipača, potpuno očišćene od korozije, premazuju se zaštitnom antikorozijskom bojom.

#### **4.1.6. Prikolica za razbacivanje stajskog gnojiva Unia-Agromet TYTAN 18**

Dvoosovinska prikolica za razbacivanje krutog stajskog gnojiva Unia-Agromet TYTAN 18, prikazana na slici 39. ima transportnu traku za dostavu gnojiva i 4 okomita valjka sa diskovima za razbacivanje gnojiva, te sljedeće dimenzije: dužina 7,93 m, širina 2,6 m i visina 3,13 m. Težina prazne prikolice iznosi 5240 kg, a kapacitet spremnika je 12 m<sup>3</sup>. U spremnik stane cca. 14 t gnojiva koje se može razbacivati u radnoj širini 6-9 m.



Slika 39. Prikolica za razbacivanje krutog stajskog gnojiva TYTAN 18 (foto: I. Andrić)

Koroziji su najjače izloženi sljedeći dijelovi prikolice: spremnik prikolice, transportna traka (lanci i lančanici, podnica trake), uređaj za razbacivanje gnojiva, ležajevi kotača, uređaj za priključivanje.

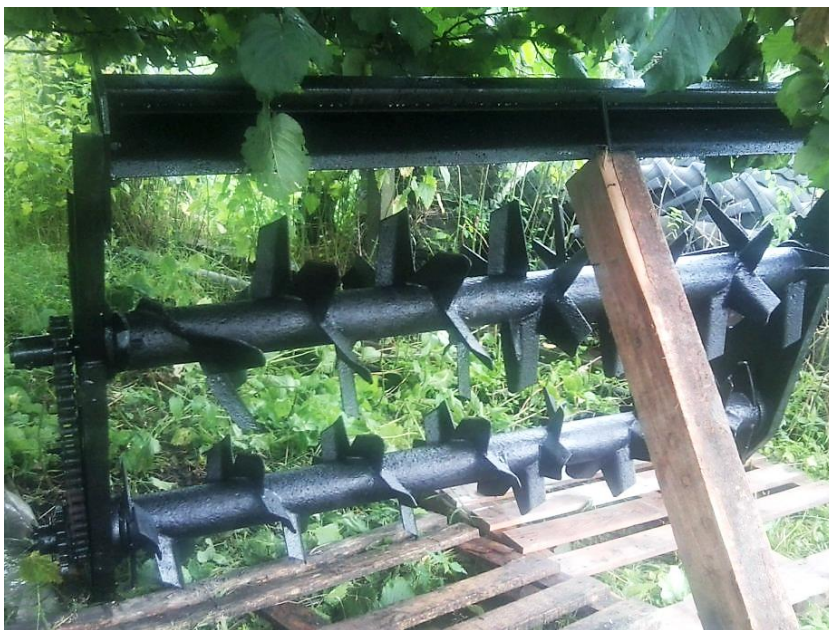
Kao i drugi poljoprivredni strojevi, prikolica za razbacivanje krutog stajskog gnojiva radi na otvorenom, pa na nastanak korozije ima veliki utjecaj okolna atmosferska vlaga. No, na koroziju dijelova prikolice ipak najveći utjecaj ima kruto stajsko gnojivo koje je u kontaktu s istim dijelovima. Riječ je o smjesi stelje, krutih i tekućih životinjskih izlučevina različitog stupnja biološke razgrađenosti, stabilnosti i zrelosti, u kojoj se nalaze organske i mineralne kiseline, zemljana prašina, kisik, itd. Takva smjesa tvari ima nagrizajuće djelovanje koje potpomaže skidanje antikorozijske zaštite (uglavnom boje) s površine metalne konstrukcije i stvaranje dobre podloge za nastavak korozijskog procesa. Takvom su djelovanju cijelom svojom površinom izloženi valjci s diskovima uređaja za razbacivanje gnojiva, prikazanog na slici 40.



Slika 40. Uređaj za razbacivanje krutog stajskog gnojiva (foto: I. Andrić)

Spremnik za gnojivo izložen je općoj neravnomjernoj koroziji, ovisno o površini koja je u kontaktu s gnojivom. Budući da je spremnik prikolice izrađen u zavarenoj izvedbi, zbog pojačanog nagrizajućeg utjecaja gnojiva na mjestima zavarenih spojeva pojavljuje se napetosa korozija. Pokretni dijelovi transportne trake izloženi su pojavi tarne korozije, kao i ležajevi kotača pri lošijem održavanju. Lančanici transportne trake izloženi su tijekom rada korozijskom zamoru, jednako kao i priključni uređaj prikolice.

Zaštita prikolice za razbacivanje krutog stajskog gnojiva od korozivskih pojava provodi se identičnim postupcima kao i u slučaju rasipača mineralnog gnojiva, tj. prethodno navedenim čišćenjem, pranjem, sušenjem, te nanošenjem novih slojeva antikorozijske boje. Primjer nanošenja novog sloja zaštitne boje na uređaj za razbacivanje gnojiva prikazan je na slici 41.



Slika 41. Uređaj za razbacivanje krutog stajskog gnojiva zaštićen bojom (foto: I. Andrić)

#### 4.2. GARAŽIRANJE POLJOPRIVREDNE TEHNIKE

Garažiranje poljoprivredne tehnike tijekom mirovanja iznimno je važan segment zaštite od korozije. Kvalitetnim garažiranjem u značajnoj mjeri se prvenstveno smanjuje nastanak opće korozije koja zahvaća sve dijelove nekog poljoprivrednog stroja ili uređaja, budući da je glavni uzrok nastanka takve korozije utjecaj okolne atmosfere, prije svega zbog vlažnosti zraka, te mogućeg sadržaja kiselih nagrizaćućih tvari (u manjoj mjeri). Pritom je važno naglasiti da se prije garažiranja treba obaviti temeljito čišćenje i pranje strojeva, kako bi se uklonile naslage tla i biljnih ostataka, korozivski štetnih tvari (gnojivo i sl.), te drugih nečistoća koje su zaostale na pojedinim dijelovima stroja. Čišćenje i pranje strojeva obavljaju se na mjestu koje je predviđeno i opremljeno za iste postupke, kako se pritom ne bi onečistio okoliš sredstvima za pranje i odmašćivanje te uklonjenim nečistoćama. Kod većine strojeva za postupke čišćenja i pranja primjenjuje se komprimirani zrak iz kompresora i vruća voda iz uređaja za pranje pod tlakom (tzv. *miniwash*).

Slika 42. prikazuje mjesto predviđeno za čišćenje i pranje poljoprivredne tehnike u krugu tvrtke PIK Vinkovci.





Slika 42. Mjesto za čišćenje i pranje poljoprivredne tehnike (foto: I. Andrić)

Nakon čišćenja i pranja otklanjaju se svi nedostaci koji su se pojavili tijekom rada. Svi oštećeni i polomljeni dijelovi moraju se odmah zamijeniti novima ili reparirati. Otklanjanje nedostataka na pojedinim strojevima ne smije se odgađati, jer se pritom može zaboraviti što je na stroju neispravno ili oštećeno. Također se može promijeniti operater na pojedinom stroju, koji jedini ima točnu i potpunu informaciju o njegovom stanju, pa se za kvalitetno obavljanje popravaka kasnije uočenih kvarova treba utrošiti znatno više vremena.

Tek nakon otklanjanja nedostataka i obavljene konzervacije strojevi se mogu garažirati. U postupcima konzervacije primjenjuju se različita kemijska sredstva za brzo i jednostavno čišćenje i odmašćivanje strojnih dijelova, kao što su Ivasol, Felix specijal, Biosolven, itd.

U PIK-u Vinkovci garažiranje se provodi na sljedeće načine:

- U poluzatvorenom prostoru, tj. pod nadstrešnicama – traktori, kombajni, utovarivači, prskalice, specijalni strojevi za povrćarstvo, sijačice, preše, samohodni strojevi, agregati, adapteri te drugi specijalni strojevi i priključci;
- Na otvorenom prostoru – plugovi, tanjurače, drljače, sjetvospremači, prikolice, ...

Slike 43., 44. i 45. prikazuju primjere garažiranja poljoprivredne tehnike u poluzatvorenom prostoru, a slike 46., 47. i 48. primjere garažiranja na otvorenom prostoru, koje se provodi u tvrtki PIK Vinkovci.



Slika 43. Garažiranje traktora u poluzatvorenom prostoru (foto: I. Andrić)



Slika 44. Garažiranje kombajna u poluzatvorenom prostoru (foto: I. Andrić)



Slika 45. Garažiranje preša i prskalica u poluzatvorenom prostoru (foto: I. Andrić)



Slika 46. Garažiranje plugova na otvorenom prostoru (foto: I. Andrić)



Slika 47. Garažiranje tanjurača na otvorenom prostoru (foto: I. Andrić)



Slika 48. Garažiranje sjetvospremača na otvorenom prostoru (foto: I. Andrić)

## 5. RASPRAVA

Analiza korozijskih pojava na odabranim predstavnicima poljoprivredne tehnike tvrtke PIK Vinkovci pokazala je da su svi analizirani strojevi i uređaji u većoj ili manjoj mjeri zahvaćeni općom korozijom. Većinom je riječ o ravnomjernoj općoj koroziji, što se naročito pojavljuje u slučajevima strojeva i uređaja za obradu tla, kao što su plugovi, podriivači, tanjurače, kultivatori, sjetvospremači i sl., čiji radni dijelovi su najjače zahvaćeni takvom korozijom.

Specifični uvjeti rada, uz prisutnost velikih opterećenja, vibracija, agresivnih tvari i sl., dodatno pojačavaju izloženost dijelova poljoprivredne tehnike i drugim vrstama korozije.

Određeni konstrukcijski dijelovi poljoprivredne tehnike, izrađeni zavarivanjem, podložni su napetosnoj koroziji, a dinamički opterećeni dijelovi (vibracije, udarci i sl.) korozijskom zamoru. Prvenstveno je riječ o uređajima za priključivanje vučenog stroja na traktor i spojnim elementima vibrirajućih radnih dijelova (podriivači s vibracijom, sjetvospremači). Ležajevi kotača vučenih poljoprivrednih strojeva, koji nisu kvalitetno zaštićeni brtvljenjem i podmazivanjem, izloženi su tarnoj koroziji.

U slučajevima utjecaja agresivnih tvari (soli, kiseline i sl.), koje se pojavljuju u sastavu mineralnog i stajskog gnojiva, dijelovi poljoprivredne tehnike za razbacivanje takvih tvari izloženi su pojačanom utjecaju korozije, kao posljedica interakcije atmosfere i gnojiva. Takav pojačani utjecaj prvenstveno se očituje u pojavi neravnomjerne opće korozije, koja je intenzivnija na površinama koje su u kontaktu s agresivnim tvarima, a u ostalim dijelovima površina je slabija zbog njihovog izostanka.

Kod rasipača mineralnog gnojiva i prikolica za razbacivanje krutog stajskog gnojiva utvrđena je također prisutnost svih prethodno navedenih vrsta korozije u naglašenijem obliku, pri čemu se posebno ističe potpovršinska korozija rasipača mineralnog gnojiva na zavarenim spojevima okvira spremnika i rešetki za razbijanje grumenja gnojiva pri usipanju.

Mjere zaštite od korozije u PIK-u Vinkovci provode se uglavnom postupcima čišćenja, pranja i konzervacije, a u slučaju ukazane potrebe obavlja se i novo bojanje dijelova.

Garažiranje je jedna od djelatnosti koja značajnije utječe na zaštitu poljoprivredne tehnike od korozije, a u PIK-u Vinkovci se provodi u poluzatvorenom i na otvorenom prostoru, ovisno o vrsti stroja. Poluzatvoreni prostor predstavljaju nadstrešnice, pod kojima se uglavnom garažiraju skuplji i složeniji poljoprivredni strojevi, a na otvorenom se uglavnom garažiraju strojevi za obradu tla i prikolice koje transportni prostor prekrivaju ceradom.

## 6. ZAKLJUČAK

Korozija je općeprisutna pojava koja zahvaća sva područja proizvodnih djelatnosti čije odvijanje uključuje različita tehnička sredstva (strojeve, uređaje, opremu, instalacije i sl.). Ona zauzima visoki udio u ekonomskim troškovima, jer se razvojem korozijskih procesa događaju štete na tehničkim sredstvima (direktna šteta) ili nastaju zastoji u radu (indirektna šteta). Upravo stoga, zaštita od korozije predstavlja značajnu stavku u svakom poslovanju.

U praksi se pojavljuju različite vrste korozijskih pojava koje se, prema načinu odvijanja procesa, mogu podijeliti na nekoliko načina. Najvažnija podjela je prema mehanizmu procesa i geometrijskom obliku razaranja. Takvom podjelom se može razlučiti veliki broj vrsta (tipova) korozije koje imaju svoje specifičnosti, detaljnije objašnjene u ovom radu.

Poljoprivredna tehnika izložena je tijekom eksploatacije brojnim i različitim oblicima korozijskih pojava, prije svega zbog toga što je temeljni način funkcioniranja njezinih predstavnika (različitih strojeva i uređaja) rad na otvorenom. Drugi bitan razlog, zbog kojih je poljoprivredna tehnika podložna koroziji, jest činjenica da je većinom izrađena od metalnih materijala, prije svega od različitih vrsta čelika. Kao i u drugim proizvodnim djelatnostima, učinkovitost poljoprivredne tehnike ovisi o njezinoj ispravnosti i pouzdanosti, pa je zaštita od korozije, kao pojave koja ugrožava navedena svojstva, iznimno važna.

Analizom stanja poljoprivredne tehnike PIK-a Vinkovci u pogledu korozijskih pojava i provedbe zaštite od istih, može se zaključiti sljedeće:

- Poljoprivredna tehnika je zadovoljavajućeg stanja u pogledu korozivnosti dijelova;
- Korozijom su najjače zahvaćeni radni dijelovi strojeva i uređaja za obradu tla, pri čemu kod istih dominira opća ravnomjerna korozija, ali koja je i najmanje opasna;
- Kod pojedinih dijelova istih strojeva i uređaja pojavljuju se, u bitno manjoj mjeri, drugi oblici korozije (korozijski zamor, napetosna i tarna korozija), koji ovise o dinamičkim opterećenjima tijekom rada (vibracije, udarci) ili načinu izvedbe konstrukcije (elastične veze, zavareni spojevi);
- Kod dijelova strojeva i uređaja koji su tijekom svoje eksploatacije u dodiru s agresivnim tvarima (uglavnom gnojivima i sl.), pojavljuje se neravnomjerna opća korozija i, u kombinaciji s napetosnom, potpovršinska korozija.
- Zaštita od korozije provodi se redovito, uz primjenu uobičajenih mjera – čišćenja, pranja i konzervacije, bojanja (ovisno o potrebi), te garažiranja sukladno prostornim mogućnostima tvrtke, a sve u skladu s naputcima za održavanje i dobrom praksom.

## 7. POPIS LITERATURE

- Alar, A., Šimunović, V., Juraga, I. (2011.): Teorijske osnove korozijskih procesa i metode zaštite. Autorizirana predavanja. Zagreb.
- ASM International (2003.): ASM Handbook, Volume 13A Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection. <http://www.tratter.com.ar/soporte/Facultad/download/Metals-%20handbook/ASM%20HandBook%20Volume%2013A%20%20Corrosion%20Fundamentals,%20Testing,%20and%20Protection.pdf> (18.10.2016.)
- Augustin, M., Ščerbejová, M. (2003.): Anticorrosive efficiency of preservatives for farming machinery. *Research in Agricultural Engineering*, 49, 2003 (1): 22–26
- Belov, H. (2009.): Primjena inhibitora korozije kod tehnologije obrade odvajanjem čestica. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Blažević, I. (2013.): Korozija oštećenja konstrukcija od nehrđajućeg čelika. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Božić, S., Radojević, S. (2008.): Korozija sredstava mehanizacije u poljoprivredi. *Zaštita materijala* 49/3, 45-50
- Brkić, D., Vujčić, M., Šumanovac, L., Lukač, P., Kiš, D., Jurić, T., Knežević, D. (2005.): Eksploatacija poljoprivrednih strojeva. Sveučilišni udžbenik. Poljoprivredni fakultet. Osijek.
- Čabraja, V. (2012.): Elektrokemijski korozijski postupci na nelegiranim konstrukcijskim čelicima. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Čavka, J. (2016.): Obrada vode inhibitorima u energetici. Diplomski rad. Strojarski fakultet Slavonski Brod.
- Domić I., Radica G., Jelić M. (2011.): Dijagnostika kvarova sustava goriva u porivnim brodskim motorima. *Naše more* 58(1-2)/2011. 22-30.
- Đurić, S., Đorđević, Lj., Mitić, D (2007.): Primjena navarivanja u održavanju poljoprivrednih alata. *Poljoprivredna tehnika* br. 3. 81-88
- Eker, B., Yuksel, E. (2005.): Solutions to corrosion caused by agricultural chemicals. *Trakia Journal of Sciences* Vol. 3, No. 7. 1-6.
- Emert, R., Bukvić, Ž., Jurić, T., Filipović, D. (1997.): Popravak poljoprivrednih strojeva. Sveučilišni udžbenik. Poljoprivredni fakultet. Osijek.
- Emert R., Jurić, T., Filipović, D., Štefanek, E. (1995.): Održavanje traktora i poljoprivrednih strojeva. Sveučilišni udžbenik. Poljoprivredni fakultet. Osijek.
- Esih I., Dugi Z. (1990.): Tehnologija zaštite od korozije I. Školska knjiga. Zagreb.

- Esih, I. (2010.): Osnove površinske zaštite. Sveučilišni udžbenik. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Esih, I., Dugi, Z. (1992.): Tehnologija zaštite od korozije II. Sveučilišni udžbenik. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Filetin, T., Kovačićek, F., Indof, J. (2002.): Svojstva i primjena materijala. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Heffer, G., Vujčić, M. (1996.): Čimbenici trošenja poljoprivredne mehanizacije pri obradi tla. Zbornik radova 24. međunarodnog simpozija iz područja mehanizacije poljoprivrede "Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede". Opatija. 89-94.
- Heffer, G., Vujčić, M., Menđušić, I. (1998.): Recikličnost poljoprivrednih strojeva. Zbornik radova 26. međunarodnog savjetovanje iz područja mehanizacije poljoprivrede "Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede". Opatija. 131-136.
- Horvat, M., Samardžić, I., Kondić, V. (2011.): Napetosna korozija. Tehnički glasnik. Časopis Veleučilišta u Varaždinu 2/2011. 103-109.
- Huljev, B. (2008.): Primjena hlapivih inhibitora korozije u maloj brodogradnji. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Jelić Mrčelić, G. (2010.): Korozija i zaštita materijala. Skripta. Pomorski fakultet u Splitu. <http://documents.tips/download/link/skripta-zastita-materijala> (20.10.2016.)
- Juraga, I., Alar, V., Šimunović, V., Stojanović, I. (2012.): Korozija i metode zaštite od korozije. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb. [https://www.fsb.unizg.hr/korozija/PROIZVODNI\\_POSTUPCI.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/korozija/PROIZVODNI_POSTUPCI.pdf) (18.10.2016.)
- Juraga, I., Šimunović V., Stojanović, I. (2007.) : Zavarivanje Cr-Ni čelika, korozijska postojanost, rukovanje. DTZI 4. seminar Čelici otporni na koroziju (nehrđajući čelici).
- 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](https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi_zatite_od_korozije_-_skripta_2015.pdf) (25.10.2016.)
- Lalić B., Kliškić M., Komar I. (2013.): Analiza korozijskog djelovanja u cilindru broskoga sporohodnoga dvotaktnog dizelskog motora. Naše more 60(1-2)/2013. 8-15
- Levanić, T. (2009): Zaštita konstrukcija od korozije primjenom premaza. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb.
- Martinez, S. (2006.): Elektrokemijska korozija materijala – lokalizirana korozija. Skripta. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Zagreb.
- Medica, V. (2010.): Toplinski strojevi i uređaji – 5. predavanje. Tehnički fakultet Rijeka.

[http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_teh\\_term\\_energ/katedra3/Nastava/Toplinsk\\_i\\_strojevi\\_i\\_uredjaji\\_I\\_2011/Predavanje\\_05\\_TOPS%20Str.ppt](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra3/Nastava/Toplinsk_i_strojevi_i_uredjaji_I_2011/Predavanje_05_TOPS%20Str.ppt) (30.10.2016.)

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

Ovčar, E. (2016.): *Zaštita strojarških konstrukcija od korozijskih procesa na primjeru transformatorskog kotla „Egipat 167/10“*. Završni rad. Sveučilište Sjever. Varaždin.

Schouten, J.C., Gellings, P.J. (1987): *Quantitative Measures of Corrosion and Prevention: Application to Corrosion in Agriculture*. J. agric. Engng. Res. 36. 217-231.

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

Tomašević, N. (2014.): *Tehnička zaštita i garažiranje poljoprivrednih strojeva – analiza stanja na OPG-u Tomašević*. Diplomski rad. Poljoprivredni fakultet. Osijek.

Trifunović M., Lačnjevac Č., Perić R. (2009.): *Korozija i zaštita poljoprivrednih mašina*. Poljoprivredna tehnika br. 1. 61-70.

Tumara, G. (2011): *Zaštita pocinčanih čeličnih konstrukcija vodorazrjeđivim premazima*. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb

Wiederholt, W. (1973.): *Korrosion und Korrosionsschutz von Geräten und Maschinen in der Landwirtschaft*. Grundlagen der Landtechnik. Bd. 23 (1973) Nr. 3. 70-84.

<http://belzona.hr/tag/erozija/> (2.11.2016.)

[http://www.andersonmaterials.com/electro/electro\\_case\\_study\\_1.html](http://www.andersonmaterials.com/electro/electro_case_study_1.html) (20.10.2016.)

[http://www.bushman.cc/photos/Another\\_AST\\_Bacterial\\_Corrosion\\_Problem.jpg](http://www.bushman.cc/photos/Another_AST_Bacterial_Corrosion_Problem.jpg) (1.11.16.)

<http://www.hausjournal.net/eisen-verzinken> (23.10.2016.)

<http://www.hausjournal.net/korrosion-von-eisen> (26.10.2016.)

<http://www.katodnazastita.hr/1/slike/korozija/22a.jpg> (7.11.2016.)

[http://www.nskamericas.com/cps/rde/xchg/na\\_en/hs.xsl/fretting.html](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xchg/na_en/hs.xsl/fretting.html) (20.10.2016.)

<http://www.pd4pic.com/old-rusty-harrow-agriculture-ancient-heritage.html> (17.10.2016.)

<http://www.performanceboats.com/v-drives/102614-prop-question.html> (17.11.2016.)

<http://www.pik-vinkovci.hr/o-nama/struktura-tvrtke/> (13.12.2016.)

<http://www.termarust.com/resources/tp1.php> (27.10.2016.)

<http://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm> (3.11.2016.)

<https://coxengineering.sharepoint.com/Pages/Corrosion.aspx> (18.10.2016.)

<https://hongten91.wordpress.com/tag/galvanic-corrosion/> (29.10.2016.)

<https://mohammad0044.wordpress.com/corrosion/two-form-of-corrosion/corrosion-fatigue/> (30.10.2016.)



## 8. SAŽETAK

Poljoprivredna tehnika tijekom eksploatacije izložena je korozijskim pojavama, prije svega zbog radnog okoliša u kome obavljaju svoju osnovnu djelatnost. Atmosfera, voda i tlo su temeljni čimbenici takve korozije, a isti su potpomognuti specifičnim čimbenicima u obliku tvari i kemikalija koje se pojavljuju u određenoj vrsti poljoprivredne proizvodnje.

U radu su analizirane korozijske pojave koje su nastale na odabranim predstavnicima poljoprivredne tehnike u tvrtki PIK Vinkovci. Utvrđeno je da se najčešće pojavljuje opća ravnomjerna korozija koja zahvaća sve strojeve i uređaje. Uz prisutnost agresivnih tvari i kemikalija, na nekim strojevima nastala je opća neravnomjerna korozija. Uvjeti opterećenja i oblici konstrukcijske izvedbe nekih strojeva pogodovali su nastanku specifičnih oblika korozije – tarne i napetosne korozije, te korozijskog zamora. Zbog prirode nastanka i načina širenja, neke od tih korozija uzrokovale su pojavu potpovršinske korozije.

U zaštiti od korozijskih pojava tvrtka PIK Vinkovci provodi uobičajene mjere – čišćenje, pranje i konzervaciju strojeva, bojanje dijelova kojima je oštećena površinska zaštita, te odgovarajuće garažiranje, sukladno naputcima za održavanje i dobroj praksi u poljoprivredi.

### Ključne riječi:

poljoprivredna tehnika, korozija, zaštita od korozije

## 9. SUMMARY

Agricultural technique during exploitation is exposed to corrosion phenomena, primarily due to the work environment in which it performs its core business. The atmosphere, water and soil are fundamental factors of such corrosion, and the same are supported by specific factors in the form of substances and chemicals that appear in certain types of agricultural production.

The paper analyses the corrosion phenomena that occurred on selected representatives of agricultural technique in the company PIK Vinkovci. It was found that the most frequently occurring general corrosion with equal action (uniform corrosion), which affects all machines and devices. With the presence of aggressive chemicals, on some machines, there was a general corrosion with unequal action. Loading conditions and forms of the design of some machines were favourable for the formation of specific forms of corrosion – friction and stress corrosion and corrosion fatigue. Because of the nature of occurrence and propagation modes, some of these corrosion caused appearance of subsurface corrosion.

In the protection from corrosion phenomena company PIK Vinkovci conducted the usual measures – cleaning, washing and conservation of machines, colouring parts with damaged surface protection, and adequate garaging, in accordance with the instructions for maintenance and good agricultural practices.

Key words:

agricultural technique, corrosion, corrosion protection

## 10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Popis poljoprivredne tehnike tvrtke PIK Vinkovci .....	34
-------------------------------------------------------------------	----

## 11. POPIS SLIKA

Slika 1. Klasifikacija korozijskih procesa .....	3
Slika 2. Posljedice djelovanja korozije .....	4
Slika 3. Podjela korozije prema mehanizmu djelovanja .....	4
Slika 4. Oštećenja sjedišta ventila zbog kemijske korozije .....	5
Slika 5. Elektrokemijska korozija tračnice i spojeva željezničke pruge .....	6
Slika 6. Shema korozije – (a) ravnomjerne i (b) neravnomjerne .....	7
Slika 7. Ravnomjerna opća korozija sijačice .....	7
Slika 8. Neravnomjerna opća korozija prskalice .....	8
Slika 9. Sheme tipova lokalne korozije: a) pjegasta, b) rupičasta, c) potpovršinska, d) kontaktna .....	8
Slika 10. Pjegasta korozija .....	9
Slika 11. Rupičasta (pitting) korozija dijela osovine od nehrđajućeg čelika .....	9
Slika 12. Površina materijala napadnutog potpovršinskom korozijom .....	10
Slika 13. Galvanska korozija čeličnog nosača .....	11
Slika 14. Procjepna korozija konstrukcije mosta .....	11
Slika 15. Mikrostruktura materijala s interkristalnom korozijom .....	12
Slika 16. Primjer oštećenja uslijed napetosne korozije .....	13
Slika 17. Korozijski zamor dijela osovine .....	13
Slika 18. Erozijska korozija brtvene površine crpke .....	14
Slika 19. Kavitacijska korozija brodskog vijka .....	14
Slika 20. Tarna korozija vanjskog prstena kotrljajućeg ležaja .....	15
Slika 21. Primjer mikrobiološki poticane korozije .....	15
Slika 22. Korozija podzemnog spremnika .....	16
Slika 23. Zastupljenost konstrukcijskih materijala kod nekih poljoprivrednih strojeva .....	17
Slika 24. Oblici katodne zaštite .....	21
Slika 25. Anodna zaštita čeličnog spremnika spajanjem s vanjskim izvorom istosmjerne struje .....	22

Slika 26. Postupci pripreme podloge, nanošenja i obrade prevlake .....	26
Slika 27. Vrste prevlaka za zaštitu metala .....	26
Slika 28. Pocinčani čelični proizvodi .....	27
Slika 29. Emajlirano posuđe .....	28
Slika 30. Sustav zaštite metala organskim premazima .....	29
Slika 31. Struktura tvrtke PIK Vinkovci .....	32
Slika 32. Obradive površine PIK-a Vinkovci na području VSŽ i OBŽ .....	33
Slika 33. Okretni plug Överum Xcelsior EX 6975 F .....	35
Slika 34. Podrivač McConnell 3M Vibro Aerator .....	36
Slika 35. Teška tanjurača Kongskilde Terra-X-7000 .....	37
Slika 36. Sjetvospremač Kongskilde Germinator SP7000 .....	38
Slika 37. Vučeni rasipač mineralnog gnojiva RCW P-5500 .....	39
Slika 38. Rešetke spremnika rasipača mineralnog gnojiva .....	40
Slika 39. Prikolica za razbacivanje krutog stajskog gnojiva TYTAN 18 .....	41
Slika 40. Uređaj za razbacivanje krutog stajskog gnojiva .....	42
Slika 41. Uređaj za razbacivanje krutog stajskog gnojiva zaštićen bojom .....	43
Slika 42. Mjesto za čišćenje i pranje poljoprivredne tehnike .....	44
Slika 43. Garažiranje traktora u poluzatvorenom prostoru .....	45
Slika 44. Garažiranje kombajna u poluzatvorenom prostoru .....	45
Slika 45. Garažiranje preša i prskalica u poluzatvorenom prostoru .....	45
Slika 46. Garažiranje plugova na otvorenom prostoru .....	46
Slika 47. Garažiranje tanjurača na otvorenom prostoru .....	46
Slika 48. Garažiranje sjetvospremača na otvorenom prostoru .....	46

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Poljoprivredni fakultet u Osijeku  
Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Diplomski rad

## Korozija i zaštita od korozije poljoprivredne tehnike

Igor Andrić

### Sažetak:

Poljoprivredna tehnika tijekom eksploatacije izložena je korozijskim pojavama, prije svega zbog radnog okoliša u kome obavljaju svoju osnovnu djelatnost. Atmosfera, voda i tlo su temeljni čimbenici takve korozije, a isti su potpomognuti specifičnim čimbenicima u obliku tvari i kemikalija koje se pojavljuju u određenoj vrsti poljoprivredne proizvodnje.

U radu su analizirane korozijske pojave koje su nastale na odabranim predstavnicima poljoprivredne tehnike u tvrtki PIK Vinkovci. Utvrđeno je da se najčešće pojavljuje opća ravnomjerna korozija koja zahvaća sve strojeve i uređaje. Uz prisutnost agresivnih tvari i kemikalija, na nekim strojevima nastala je opća neravnomjerna korozija. Uvjeti opterećenja i oblici konstrukcijske izvedbe nekih strojeva pogodovali su nastanku specifičnih oblika korozije – tarne i napetosne korozije, te korozijskog zamora. Zbog prirode nastanka i načina širenja, neke od tih korozija uzrokovale su pojavu potpovršinske korozije.

U zaštiti od korozijskih pojava tvrtka PIK Vinkovci provodi uobičajene mjere – čišćenje, pranje i konzervaciju strojeva, bojanje dijelova kojima je oštećena površinska zaštita, te odgovarajuće garažiranje, sukladno naputcima za održavanje i dobroj praksi u poljoprivredi.

**Rad je izrađen pri:** Poljoprivredni fakultet u Osijeku

**Mentor:** prof. dr. sc. Goran Heffer

**Broj stranica:** 58

**Broj grafikona i slika:** 48

**Broj tablica:** 1

**Broj literaturnih navoda:** 54

**Broj priloga:** -

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** poljoprivredna tehnika, korozija, zaštita od korozije

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, predsjednik
2. prof. dr. sc. Goran Heffer, mentor
3. doc. dr. sc. Ivan Plaščak, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

# **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Agriculture in Osijek**  
**University Graduate Studies, Mechanization, course**

**Graduate thesis**

## **Corrosion and corrosion protection of agricultural technique**

Igor Andrić

### **Abstract:**

Agricultural technique during exploitation is exposed to corrosion phenomena, primarily due to the work environment in which it performs its core business. The atmosphere, water and soil are fundamental factors of such corrosion, and the same are supported by specific factors in the form of substances and chemicals that appear in certain types of agricultural production.

The paper analyses the corrosion phenomena that occurred on selected representatives of agricultural technique in the company PIK Vinkovci. It was found that the most frequently occurring general corrosion with equal action (uniform corrosion), which affects all machines and devices. With the presence of aggressive chemicals, on some machines, there was a general corrosion with unequal action. Loading conditions and forms of the design of some machines were favourable for the formation of specific forms of corrosion – friction and stress corrosion and corrosion fatigue. Because of the nature of occurrence and propagation modes, some of these corrosion caused appearance of subsurface corrosion.

In the protection from corrosion phenomena company PIK Vinkovci conducted the usual measures – cleaning, washing and conservation of machines, colouring parts with damaged surface protection, and adequate garaging, in accordance with the instructions for maintenance and good agricultural practices.

**Thesis performed at:** Faculty of Agriculture in Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Goran Heffer

**Number of pages:** 58

**Number of figures:** 48

**Number of tables:** 1

**Number of references:** 54

**Number of appendices:** -

**Original in:** Croatian

**Key words:** agricultural technique, corrosion, corrosion protection

**Thesis defended on date:**

### **Reviewers:**

1. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, president
2. prof. dr. sc. Goran Heffer, mentor
3. doc. dr. sc. Ivan Plaščak, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.