

# ZAŠTITA OD KOROZIJE U LJEVAONICI

---

**Dolinar, Andreja**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:201636>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-23**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ANDREJA DOLINAR

# **ZAŠTITA OD KOROZIJE U LJEVAONICI**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2021.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ANDREJA DOLINAR

# **ZAŠTITA OD KOROZIJE U LJEVAONICI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Tihana Kostadin, mag.ing.stroj.

KARLOVAC, 2021.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
Karlovac University of Applied Sciences

Klasa:  
602-11/\_\_\_-01/\_\_\_

Ur.broj:  
2133-61-04-\_\_\_-01

## ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

Datum:

Ime i prezime	ANDREJA DOLINAR	
OIB / JMBG		
Adresa		
Tel. / Mob./e-mail		
Matični broj studenta		
JMBAG		
Studij(staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Xpreddiplomski</b>	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski
Naziv studija	STROJARSTVO	
Godina upisa	2013.	
Datum podnošenja molbe	11.05.2021.	
Vlastoručni potpis studenta/studentice		

Naslov teme na hrvatskom: ZAŠTITA OD KOROZIJE U LJEVAONICI

Naslov teme na engleskom: CORROSION PROTECTION IN THE FOUNDRY

**Opis zadatka:** Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela. U teorijskom dijelu potrebno je opisati proces korozije i mjere zaštite od korozije. U eksperimentalnom dijelu rada, u suradnji sa tvrtkom Livar d.d. opisati proces izrade jednog proizvoda iz ljevaonice, sa posebnim naglaskom na antikorozijsku zaštitu u konkretnom slučaju, za konkretni materijal. Analizirati obrađeno o eksperimentalnom dijelu.

Na kraju napisati odgovarajući zaključak. Rad urediti prema pravilima VUK.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## ZAHVALA

- Velika hvala mojim roditeljima koji su uvijek vjerovali u mene i bili mi podrška. Hvala vam na bezgraničnoj ljubavi i strpljenju.
- Hvala mom suprugu, bez čije podrške i ljubavi nijedan moj uspjeh, pa tako ni ovaj, ne bi bio moguć, ni potpun.
- Hvala mentorici dr.sc. Tihani Kostadin, mag. ing. stroj. na velikoj pomoći, savjetima i strpljenju tijekom pisanja završnog rada. Također hvala Tomislavu Božiću dipl. ing. stroj. na pomoći pri izradi završnoga rada.

## **IZJAVA:**

Izjavljujem da sam ja – studentica Andreja Dolinar, OIB:26908611962, matični broj: 0110613054, upisana u I. semestar akademske godine 2013./2014., radila ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice dr. sc. Tihane Kostadin, mag. ing. stroj., i kod praktičnog dijela u tvrtki Livar d.d., kojima se ovim putem zahvaljujem.

Karlovac, 2021.

ANDREJA DOLINAR \_\_\_\_\_

## **SAŽETAK:**

### **Naslov teme: ZAŠTITA OD KOROZIJE U LJEVAONICI**

U teorijskom dijelu rada opisan je proces korozije, vrste korozije te zaštita od korozije koja se provodi.

Praktični dio je vezan uz proizvodnju u tvrtki Livar d.d. koja postoji od 1954. godine i jedna je od najvećih ljevaonica u Sloveniji. Zapošljava preko 600 ljudi u dvije ljevaonice i u dvije općine. S obzirom da je u tvrtki Livar specijalizirana ljevaonica za proizvodnju proizvoda od sivog i nodularnog lijeva, napravljena je podjela ljevova s obzirom na kemijski sastav, strukturu, način proizvodnje i svojstva.

U praktičnom dijelu ovoga rada opisan je proces izrade jednog proizvoda koji izrađuje tvrtka Livar, s posebnim naglaskom na antikorozijsku zaštitu.

**Ključne riječi: korozija, antikorozijska zaštita, željezni ljevovi, premazi.**

## **SUMMARY:**

### **Topic title: CORROSION PROTECTION IN THE FOUNDRY**

The theoretical part of the paper describes the corrosion process, the types of corrosion and the protection against corrosion that is carried out.

The experimental part is related to production in the company Livar d.d. which has existed since 1954 and is one of the largest foundries in Slovenia. It employs over 600 people in two foundries and in two municipalities. Since Livar d.d. is a specialized foundry for the production of gray and ductile iron products, a division of castings was made according to the chemical composition, structure, method of production and properties.

The experimental part of this paper describes the process of making a product made by the company Livar d.d., with special emphasis on corrosion protection.

**Key words: corrosion, anticorrosion protection, iron castings, coatings.**



# **SADRŽAJ:**

## **POPIS SLIKA**

## **POPIS TABLICA**

## **POPIS OZNAKA**

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>KOROZIJA</b>	<b>1</b>
<b>2. KLASIFIKACIJA KOROZIJSKIH PROCESA</b>	<b>2</b>
<b>2.1. MEHANIZMI KOROZIJSKIH PROCESA:</b>	<b>3</b>
2.1.1.    Kemijska korozija	3
2.1.2.    Elektrokemijska korozija	4
<b>2.2. GEOMETRIJSKA KLASIFIKACIJA KOROZIJE (PREMA ZAHVAĆENOJ POVRŠINI)</b>	<b>6</b>
2.2.1.    Opća korozija	6
2.2.2.    Lokalna korozija	6
2.2.2.1.    Pjegasta korozija	6
2.2.2.2.    Rupičasta korozija (Pitting korozija)	7
2.2.2.3.    Potpovršinska korozija	7
2.2.2.4.    Kontaktna korozija	8
2.2.2.5.    Napetosna korozija	8
2.2.2.6.    Selektivna korozija	9
2.2.2.7.    Interkristalna korozija	9
<b>3. ZAŠTITA OD KOROZIJE</b>	<b>10</b>
<b>3.1.    Zaštita odabirom konstrukcijskih materijala</b>	<b>10</b>
<b>3.2.    Legiranje – mjera zaštite od korozije</b>	<b>14</b>
<b>3.3.    Zaštita od korozije oblikovanjem i konstrukcijskim mjerama</b>	<b>15</b>
<b>3.4.    Elektrokemijske metode zaštite</b>	<b>16</b>
<b>3.5.    Zaštita prevlakama</b>	<b>17</b>
3.5.1.    Anorganske prevlake	17
3.5.1.1.    Anorganske metalne prevlake	17
3.5.1.2.    Anorganske nemetalne prevlake	20
3.5.2.    Organske prevlake i premazi	21
<b>3.6.    Zaštita od korozije obradom korozivne sredine</b>	<b>25</b>
<b>3.7.    Privremene mjere zaštite od korozije</b>	<b>27</b>
<b>4. PRAKTIČNI DIO</b>	<b>28</b>

<b>4.1. KORIŠTENI MATERIJALI - SIVI I NODULARNI LIJEV</b>	<b>28</b>
4.1.1. Sivi lijev	28
4.1.2. Nodularni lijev	30
<b>4.2. PROCES IZRADE PROIZVODA DANA 104</b>	<b>32</b>
<b>4.2.1. NAMJENA I UPOTREBA PROIZVODA DANA 104</b>	<b>32</b>
<b>4.2.2. PROIZVODNI PROCES DANA 104</b>	<b>33</b>
4.2.2.1. <i>Lijevanje</i>	33
4.2.2.2. <i>Pjeskarenje</i>	40
4.2.2.3. <i>Zaštita od korozije bojanjem</i>	42
4.2.2.4. <i>Mehanička obrada</i>	43
4.2.2.5. <i>Kontrola kvalitete</i>	47
4.2.2.6. <i>Pakiranje</i>	48
<b>4.3. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA U LJEVAONICI</b>	<b>49</b>
<b>4.3.1. POSTUPAK ZAŠTITE OD KOROZIJE PROIZVODA DANA 104 U TVRTKI LIVAR</b>	<b>49</b>
<b>4.3.2. TEMELJNA BOJA (PREMAZ)</b>	<b>53</b>
<b>4.4. ANALIZA PRAKTIČNOG DIJELA</b>	<b>54</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b>	<b>55</b>
<b>LITERATURA:</b>	<b>56</b>

## POPIS SLIKA:

Slika 1.: Klasifikacija korozijskih procesa.....	2
Slika 2.: Željezni oksid.....	4
Slika 3.: Elektrokemijska korozija aluminija koji je u dodiru sa čelikom.....	5
Slika 4.: Primjer potpovršinske korozije.....	7
Slika 5.: Napetosna korozija metala i metalnih legura.....	8
Slika 6.: Postupak galvanizacije (niklanje).....	19
Slika 7.: Nanošenje premaza.....	25
Slika 8.: Mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora.....	27
Slika 9.: Mikrostruktura sivog lijeva (polirano).....	29
Slika 10.: Mikrostruktura sivog lijeva (nagriženo).....	29
Slika 11.: Mikrostruktura nodularnog lijeva (polirano).....	30
Slika 12.: Mikrostruktura nodularnog lijeva (nagriženo).....	30
Slika 13.: Primjena nodularnog lijeva: zupčanci, rotori pumpa,.....	31
Slika 14.: Hidraulički filtri.....	32
Slika 15.: DANA 104.....	33
Slika 16.: Drvena jezgra.....	34
Slika 17.: Keramički filter.....	35
Slika 18.: MM automatska linija za kalupljenje.....	35
Slika 19.: Oblikovanje bez kalupnika.....	36
Slika 20.: Modeli na AMC liniji.....	37
Slika 21.: Oblik modela otisnut u pijesak.....	38
Slika 22.: Talionica.....	38
Slika 23.: Peć za taljenje.....	39
Slika 24.: Receptor.....	39
Slika 25.: Stroj za pjeskarenje.....	40

Slika 26.: Turbinsko pjeskarenje.....	41
Slika 27.: DANA 104 zapečeni kanali.....	42
Slika 28.: Boreskop.....	42
Slika 29.: Antikorozijska zaštita.....	42
Slika 30.: Odjel mehaničke obrade.....	43
Slika 31.: CNC tokarilica Daewoo puma v550.....	44
Slika 32.: Tokarski nož.....	45
Slika 33.: Nož (HHS).....	46
Slika 34.: Alat sa lemljenom pločicom.....	46
Slika 35.: Alat sa pričvršćenim reznim umetkom.....	46
Slika 36.: DANA 104 nakon obrade (gruba i fina obrada, provrti).....	47
Slika 37.: Robot za mjerenje Mitutoyo.....	47
Slika 38.: Linija za pranje gotovih proizvoda u mehaničkoj obradi.....	48
Slika 39.: Odljevci DANE 104 prije nanošenja premaza.....	50
Slika 40.: Vješanje odljevaka na držače.....	50
Slika 41.: Uranjanje odljevaka u bazen sa bojom.....	51
Slika 42.: DANA 104 nakon nanošenja premaza.....	51
Slika 43.: Pakiranje proizvoda koji se prodaju bez antikorozijske zaštite.....	52
Slika 44.: Crvena boja.....	53
Slika 45.: Crna boja.....	53

## **POPIS TABLICA:**

Tablica 1.: Apsolutna otpornost na koroziju ovisno o atmosferi u kojoj se nalazi konstrukcija, nekih nezaštićenih materijala.

Tablica 2.: Vrijednosti prosječne brzine prodiranja korozije.

Tablica 3.: Postupci pripreme podloge, nanošenja i obrade prevlaka

Tablica 4.: Kemijski sastav sivog lijeva

Tablica 5.: Kemijski sastav nodularnog lijeva

**POPIS OZNAKA:**

<b>NAZIV</b>	<b>ZNAČENJE</b>
HRN	hrvatska norma
VP	parnofazni inhibitori
VCI	isparljivi inhibitori
Ms	martensite start – temperatura početka stvaranja martenzita
$\epsilon$	deformacija – istezanje; mm/mm, %
$\alpha, \beta, \gamma$	kristali (alfa, beta, gama)
BCC	prostorno centrirana kubična rešetka
FCC	plošno centrirana kubična rešetka
Fe <sub>3</sub> C	cementit
T	taljevina (faza)
$\alpha$	toplinska rastezljivost; 1/K
Č	čelik
ČL	čelični lijev
MM	Mac Master – automatska linija za kalupljenje
BMD	automatska linija za kalupljenje
DISA	ljevački stroj za lijevanje tekućih metala

# 1. UVOD

## KOROZIJA

Korozija je (prema HRN EN ISO 8044) fizikalno kemijsko međudjelovanje metala i njegova okoliša, koje uzrokuje promjenu uporabnih svojstava metala, te može dovesti do oštećenja funkcije metala, okoliša ili tehničkog sustava koji oni čine.[1] Korozija razara metale i anorganske nemetale (npr. beton), a oštećuje i organske materijale kao što su polimerni materijali i drva. U geologiji je korozija opći naziv za kemijsko trošenje stijena. Naziv korozija dolazi od latinske riječi *corrodere*, što znači nagristi. [3]

Korozija pretvara velik broj korisnih metala u nekorisne spojeve, pa čak i štetne korozijske produkte. Da bi došlo do pojave korozije ili procesa oštećivanja čelične konstrukcije, mora u promatranom sastavu postojati kemijska, mehanička, biološka ili neka druga pokretačka sila.

Čelik je materijal koji se najviše upotrebljava kod izrade raznih konstrukcija, pa je njegovo korozijsko ponašanje i antikorozivnu zaštitu potrebno dobro poznavati. Korozija smanjuje uporabnu vrijednost čelika, odnosno općenito uporabu željeznih materijala, skraćuje vijek trajanja konstrukcija, poskupljuje njihovo održavanje, uzrokuje gubitke u proizvodnji, zastoje u radu, havarije, nesreće i dr.

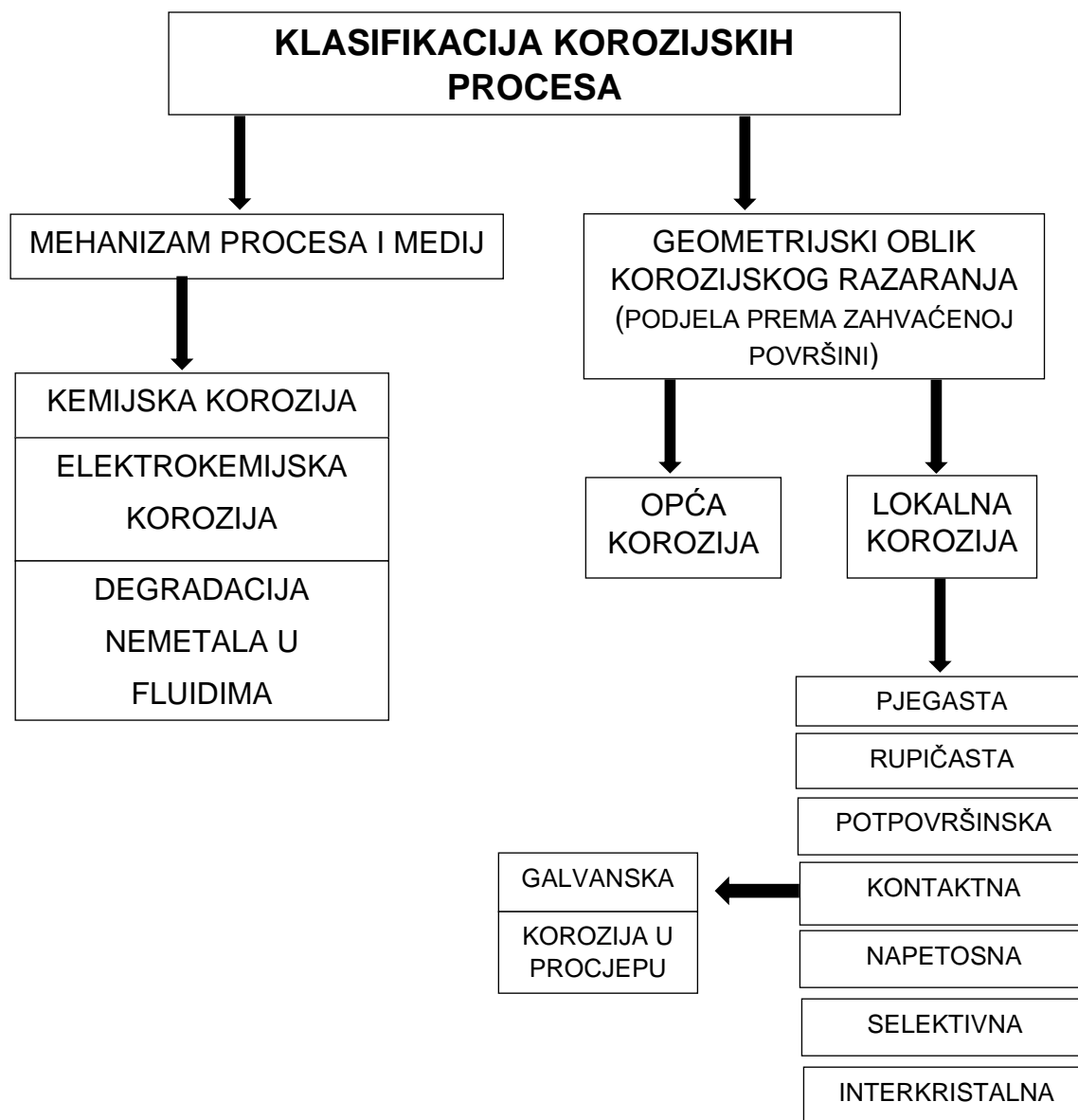
Ekonomsko značenje korozije čelika je veliko i ono raste s industrijalizacijom privrede. Stvarnu štetu nastalu zbog korozije na čeličnim konstrukcijama je teško izračunati jer osim direktnih troškova (zamjena korodirane opreme, održavanje i provođenje zaštite od korozije) uključuje i indirektno troškove (zaustavljanje proizvodnje, smanjenje efikasnosti, gubitak proizvoda, onečišćenje proizvoda i okoliša te predimenzioniranje konstrukcija).

Ako pogledamo unatrag nekoliko godina možemo primijetiti da se cijene konstrukcijskih materijala kreću prema gore, pogotovo onih postojanih (Pb, Cu, Zn, Sn), zbog sve veće cijene energenata koji su potrebni za preradu sirovina, ali i zbog sve manjih zaliha sirovina za proizvodnju. Istodobno se povećava potražnja za konstrukcijskim materijalima.

Zaštita od korozije postaje sve važnija zbog produljenja eksploatacije opreme i zaštite materijala od propadanja. [2]

## 2. KLASIFIKACIJA KOROZIJSKIH PROCESA

Korozija se može klasificirati prema mehanizmu procesa, prema razdiobi na površini materijala, prema vremenskom tijeku, prema materijalu koji korodira i prema korozivnom mediju. Najvažnija je svakako podjela prema mehanizmu procesa. [1] U strojarskoj industriji osnovna sirovina je metal, stoga je potrebno posvetiti pažnju njihovom korozivnom ponašanju.[4]



Slika 1.: Klasifikacija korozivnih procesa



## 2.1. MEHANIZMI KOROZIJSKIH PROCESA:

Prema mehanizmu korozijske procese možemo podijeliti na:

- Kemijsku koroziju,
- Elektrokemijsku koroziju,
- Degradaciju nemetala u fluidima.

### 2.1.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija se odvija u neelektrolitima, tj. u medijima koji ne provode električnu struju. Sastoji se u reakciji atoma metala iz kristalne rešetke s molekulama nekog elementa ili spoja iz okoline, pri čemu izravno nastaju molekule spoja koje su korozijski produkt.

Prema djelovanju okoline kemijsku koroziju možemo podijeliti na:

- Kemijsku koroziju u vrućim plinovima,
- Kemijsku koroziju u neelektrolitima.

Kemijska korozija u vrućim plinovima nastaje na vrućem zraku i u sagorijevanim plinovima, i to pri vrućoj obradi metala (zavarivanjem, lijevanjem, kovanjem, provlačenjem, valjanjem, žarenjem, istiskivanjem, kaljenjem itd.), u metalurškim i termoenergetskim postrojenjima, u industrijskim ložištima i pećima, u motorima sa unutrašnjim izgaranjem i sl.

Kemijska korozija u neelektrolitima nastaje u medijima koji ne provode električnu struju, pri čemu nastaju spojevi metala s nemetalnim elementima (najčešće sulfidi i oksidi).

Primjeri neelektrolitnih tekućina su:

- Nafta i njezini derivati (tekuća goriva i maziva),
- Otapala za odmašćivanje (klorirani ugljikovodici) i za razrjeđivanje lakova i boja (smjese ugljikovodika, alkohola, ketona, estera, itd.).

Brzina i tok kemijske korozije ovise o:

- Metalu koji korodira (kemijski sastav, struktura),
- Agresivnoj okolini koja ga okružuje (sastav i koncentracija okoline),
- Korozijskim produktima (fizikalna i kemijska svojstva produkta korozije),
- Fizikalnim uvjetima (temperatura, naprezanje, hrapavost površne i napetosti),
- Brzini gibanja medija.[4]

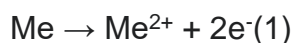


Slika 2.: Željezni oksid[3]

### 2.1.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija se javlja svuda gdje postoji razlika potencijala među pojedinačnim mjestima, uz prisustvo elektrolita. Za pojavu elektrokemijske korozije nisu nužno potrebna dva različita metala kao kod galvanske ćelije, dovoljna su katodna i anodna područja u metalu. Najčešći elektroliti su voda i vodene otopine kiselina, lužina i soli.

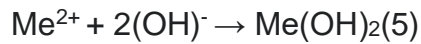
Na anodi se odvija oslobađanje elektrona – oksidacija:



Oslobodeni elektroni putuju na katodu, gdje se odvija depolarizacija s vodikom ili kisikom:

- Depolarizacija s vodikom:  $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2(2)$ ,
- Depolarizacija s kisikom u kiselom mediju:  $\text{O}_2 + 2\text{H}^{+} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 2(\text{OH})^{-}(3)$ ,
- Depolarizacija s kisikom u lužnatom mediju:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4(\text{OH})^{-}(4)$ .

Ponekad međusobno djeluju produkti primarne reakcije – to je sekundarna reakcija. Za odvijanje elektrokemijske korozije sekundarna reakcija nije nužna. Primjer sekundarne reakcije:



U kristalnoj rešetki metala postoje nepravilnosti. Ta mjesta nepravilnosti se ponašaju kao anode, dok su područja bez nepravilnosti katode. Kod polikristalnih struktura granice zrna su anode, dok su unutrašnjosti kristala zrna katode. Kod višefaznih struktura elektrokemijski potencijali različitih faza se razlikuju. Faza sa najnegativnijim potencijalom je anoda.

Različiti uvjeti površine metala (neravnomjerna uronjenost u vodu, razlika u koncentraciji kisika, razlika u temperaturi elektrolita,...) stvaraju razliku u elektrokemijskom potencijalu i uzrokuju proces elektrokemijske korozije. Metalni dijelovi mogu biti nejednako elastično opterećeni. Dijelovi koji su jače opterećeni ponašaju se kao anode. [3]



*Slika 3.: Elektrokemijska korozija aluminija koji je u dodiru sa čelikom[3]*

## 2.2. GEOMETRIJSKA KLASIFIKACIJA KOROZIJE (PREMA ZAHVAĆENOJ POVRŠINI)

Prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja korozijski procesi se dijele na:

- Opću koroziju,
- Lokalnu koroziju
  - Pjegasta,
  - Rupičasta,
  - Potpovršinska,
  - Kontaktna,
  - Napetosna,
  - Selektivna,
  - Interkristalna.

### 2.2.1. Opća korozija

Opća korozija zahvaća cijelu površinu materijala, a može biti ravnomjerno ili neravnomjerno raspoređena po površini materijala. Najmanje opasna je ravnomjerna opća korozija jer se proces s lakoćom može pratiti, te tako predvidjeti kada bi se određeni dio mogao popraviti ili zamijeniti novim ukoliko je to potrebno. Puno je opasnija neravnomjerna opća korozija. Kada je cijela površina materijala izložena agresivnoj sredini pod približno jednakim uvjetima govorimo o općoj koroziji. Kada biramo materijal otporan na opću koroziju moramo uzeti u obzir njegovu podložnost na opću koroziju u predviđenim uvjetima, te trebamo biti upoznati sa okolinom u kojoj će se materijal nalaziti. Korištenjem organskih i metalnih prevlaka kontrolira se ovaj oblik korozije.[2]

### 2.2.2. Lokalna korozija

Najrašireniji oblik korozije je lokalna korozija koja napada samo neke dijelove izložene površine materijala. Lokalna korozija se može podijeliti na pjegastu, rupičastu, potpovršinsku, kontaktnu, napetosnu, selektivnu i interkristalnu koroziju.[2]

#### 2.2.2.1. Pjegasta korozija

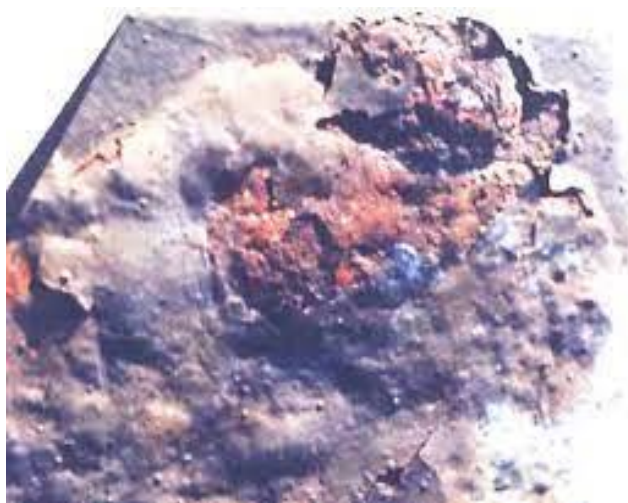
Karakteristika pjegaste korozije je razaranja materijala u dubinu konstrukcije. Pjegasta korozija napada samo neke dijelove izložene površine materijala i najraširenija je pojava lokalne korozije.[2]

### 2.2.2.2. *Rupičasta korozija (Pitting korozija)*

Usko lokalizirani oblik korozije čiji je uzrok nastajanje malih rupa, naziva se rupičasta korozija. Rupičasta korozija se obično pojavljuje na mjestima gdje je probijena zaštitna prevlaka tijekom mehaničkog oštećenja ili kemijske degradacije. Rupičastu koroziju je teško predvidjeti, otkriti i spriječiti, prodire u materijal bez da uzrokuje vidljiv gubitak mase, te se događa u vrlo kratkom periodu, zato je jedan od najopasnijih oblika korozije. Česta je pojava na konstrukcijama koje su mehanički opterećene pa može doći i do iznenadnih havarija. Rupičasta korozija se pojavljuje u obliku mnogih rupica sa različitim dubinama i promjerima zato ju je teško predvidjeti i mjeriti. Među metalima i legurama, nehrđajući čelici su najpodložniji rupičastoj koroziji. U okolišu koji sadrži visoke koncentracije otopina klora i broma, te u morskoj vodi se najčešće pojavljuju rupice na nehrđajućem čeliku. Poliranjem površine nehrđajućeg čelika, te legiranjem Cr, Mo i Ni povećava se otpornost na rupičastu koroziju. U prevenciji pojave rupičaste korozije važan je odabir materijala, koji se može testirati izlaganjem okolini, također je moguće smanjiti agresivnost korozijskog okoliša.[3]

### 2.2.2.3. *Potpovršinska korozija*

Kada se žarišta rupičaste korozije šire u dubini materijala te ga raslojavaju govorimo o potpovršinskoj koroziji. U unutrašnjosti materijala se gomilaju čvrsti korozijski produkti pa pri tome na površini materijala nastaju mjehuri, a volumen im je veći od volumena unutrašnjeg materijala. Najčešće pojave potpovršinske korozije su bubrenje i listanje.[2]



*Slika 4.: Primjer potpovršinske korozije[4]*

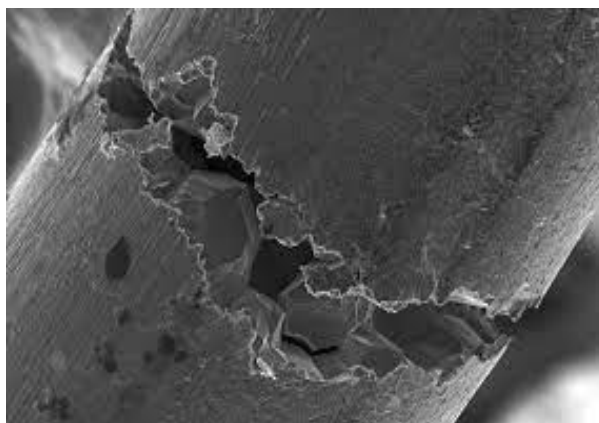
#### 2.2.2.4. Kontaktna korozija

Kontaktnu koroziju možemo podijeliti na:

- Galvansku kontaktnu koroziju- javlja se kada su dva metala električno povezana različitim električnim potencijalima, kroz medij koji provodi elektricitet ili fizičkim kontaktom. Najveća je u blizini površine gdje su dva metala u kontaktu. Odabirom materijala koji imaju relativno bliske korozijske potencijale, izolacijom anodnog metala od korozivnog okoliša i izolacijom kontakta različitih metala postiže se smanjenje sklonosti galvanskoj koroziji.
- Pukotinsku kontaktnu koroziju – javlja se pri dodiru dvaju dijelova od istoga metala ili metala i nemetala. Slična je rupičastoj koroziji, a njeno smanjenje postiže se katodnom zaštitom, izbjegavanjem uskih procjepa pri konstruiranju, omogućavanjem drenaže, izbjegavanjem naslaga, izbjegavanjem stagnacije medija.[2]

#### 2.2.2.5. Napetosna korozija

Napetosna korozija se pojavljuje u slučajevima kada je predmet istovremeno izložen djelovanju vlačnog naprezanja i agresivnog medija. Pojaviti će se najčešće na hladnim deformiranim lokalitetima jer su tamo napetosti u zaostatku, kao što su npr. hladno deformirana koljena cjevovoda. U okolini zavarenih mjesta gdje su povišena zaostala naprezanja također se pojavljuje napetosna korozija. Napukline napreduju okomito na smjer vlačnog opterećenja, a šire se interkristalno ili transkristalno, a ne po granicama zrna. Snižanjem vlačnog naprezanja toplinskom obradom, konstrukcijskim izmjenama, obradom mlazom sačme i sl., smanjuje se pojava napetosne korozije.[2]



Slika 5.: Napetosna korozija metala i metalnih legura[3]

#### 2.2.2.6. *Selektivna korozija*

Selektivna korozija je rijedak oblik korozije kod koje nastaje promjena strukture, te je napadnut jedan element metalne legure. Decinkacija je najčešći oblik selektivne korozije, do koje dolazi kada se cink izvuče iz mjedenih legura ili neke druge legure koja sadrži značajnu količinu cinka. Kod tako novonastalih struktura nije došlo do značajne promjene dimenzija ali je legura oslabljena, porozna i krhka. Selektivna korozija pretvara čvrst i duktilan metal u slab i krhak, te ujedno podložan lomu zbog čega se smatra opasnim oblikom korozije. Zbog malih promjena u dimenzijama, može se dogoditi da se selektivna korozija ne primijeti, te tako može doći do iznenadne havarije.[2]

#### 2.2.2.7. *Interkristalna korozija*

Interkristalna korozija materijal razara na granicama zrna te se na taj način širi u dubinu. Uglavnom se pojavljuje na legurama, dugo može ostati neprimijećena, a naglo smanjuje žilavost i čvrstoću materijala pa možemo reći da je interkristalna korozija najopasniji oblik korozije. Uglavnom zahvaća nehrđajuće čelike, legure na bazi aluminija i nikla, a kao posljedica interkristalne korozije dolazi do raspada materijala.[2]

### **3. ZAŠTITA OD KOROZIJE**

Korozija je spontani proces prelaska metala iz elementarnog stanja u spojeve u kojima se najčešće nalazi u prirodi. Svaki od postupaka zaštite je potencijalni zagađivač okoliša. U ne tako davnoj prošlosti metode zaštite od korozije promatrane su samo s aspekta njihove djelotvornosti dok je ekološka prihvatljivost bila zanemarivana pa su korištene mnoge supstance otrovne za ljude, kao i za biljni i životinjski svijet. Danas su za mnoge postupke zaštite od korozije doneseni zakoni koji zabranjuju upotrebu toksičnih tvari te reguliraju emisije otpadnih tvari iz tih procesa.[5]

Metode zaštite od korozije:

- Zaštita odabirom konstrukcijskih materijala,
- Legiranje,
- Oblikovanje i konstrukcijske mjere,
- Elektrokemijske metode zaštite,
- Zaštita prevlakama,
- Zaštita od korozije obradom korozivne sredine,
- Privremene mjere zaštite.

#### **3.1. Zaštita odabirom konstrukcijskih materijala**

Korištenjem korozijski postojanih materijala pokušava se smanjiti sklonost nastanku korozije. Da bi se odabrao odgovarajući materijal treba zadovoljiti niz čimbenika kao što su: estetski izgled, mehanička svojstva, očekivani vijek trajanja, korozijska postojanost i cijena. Kada se projektira neki objekt, bez obzira kojeg je tipa ili namjene u obzir treba uzeti sve faktore koji će ovisiti o njegovoj trajnosti i učinkovitosti. Objekt bi trebao u projektom predviđenom vremenu upotrebe zadovoljiti sva kemijska i fizička svojstva, zato je značajna primjena korozijski postojanih materijala.[2]



Korozijski postojani materijali koji se najčešće primjenjuju kod strojarskih konstrukcija su:

- Titan i njegove legure,
- Nikal i njegove legure (Ni-Mo, Ni-Cu),
- Bakar i njegove legure,
- Polimerni materijali i njihovi kompoziti,
- Aluminiij i njegove legure (čisti Al, Al- Mn, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg-Cu,...),
- Plemeniti metali ili legure (Pt, Ta, Au, Zr),
- Visoko legirani plemeniti čelici i željezni ljevovi (austenitni, martenzitni, feritni, čelici maraging, duplex čelici i ljevovi),
- Beton,
- Staklo,
- Porculan,
- Tehnička keramika,
- Emajl,
- Grafitni materijal.

Tablica 1.: Apsolutna otpornost na koroziju ovisno o atmosferi u kojoj se nalazi konstrukcija, nekih nezaštićenih materijala.[2]

Vrsta materijala	Slatka voda	Morska voda	Industrijska atmosfera	Lužina (8%)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5...15%)
<i>Sivi lijev</i>	1	1	4	4	1
<i>Galvanizirani čelik</i>	2	4	4	1	1
<i>Nikal</i>	5	5	4	5	4
<i>Nisko ugljični čelik</i>	1	1	1	5	1
<i>Bakar</i>	4	4	4	3	3
<i>18 %Cr i 8 %Ni nehrđajući čelik</i>	5	4	5	5	2
<i>18 %Cr i 35 %Ni nehrđajući čelik</i>	5	4	5	4	4
<i>Mjed (85 %Cu i 15 %Zn)</i>	3	4	4	1	3
<i>"monel" (70 % Ni i 30 % Cu)</i>	5	5	4	5	4
<i>Aluminij</i>	2	1	4	3	1
<i>Al-Cu legura</i>	1	1	3	2	1
<i>Al-bronca</i>	4	4	4	3	3
<i>Novo srebro (65%Cu, 18% Ni, 17% Zn)</i>	4	4	4	4	4
<i>Čelik s 4...6%Cr</i>	3	3	3	4	1

Ocjene: 1 = slaba – brzi napad; 2 = osrednja – privremena upotreba; 3 = dobra - umjereno korištenje; 4 = vrlo dobra – pouzdano korištenje; 5 = izvrsna – neograničeno korištenje

Tablica 2.: Vrijednosti prosječne brzine prodiranja korozije.[2]

Metal ili legura (gustoća u g/cm <sup>3</sup> )	Maks. temp. upotrebe u vru. zraku (°C)	PROSJEČNA BRZINA PRODİRANJA KOROZIJE (mm/g)					Posebni oblici razaranja
		U					
		GRADSKOJ ATMOSFERI	MORSKOJ VODI	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (w=5%)	HNO <sub>3</sub> (w=5%)	NaOH	
Ugljični čelik (≈7,85)	570	0,03-0,2	0,003-0,3	0,4-10	Vrlo velika	<0,005	Kaustična krhkost
Cr-čelik s 13% Cr (≈7,75)	795	0,01	<0,1	Vrlo velika	0,08-0,9	<0,1	Točkasta, interkristalna, napetosna korozija
Cr-čelik s 19% Cr i 10% Ni (≈7,93)	865	0,005	<0,05	0,1-3	0,05	<0,05	
Sivi lijev (6,95-7,5)	570	0,01-0,1	0,2-2	>1,3	>3	0,05- 0,5	Grafitizacija, „rast“ (bujanje)
Titan (≈4,54)	750	0	0	0,25-2,5		0,005	
Nikl (≈8,8)	800	<0,05	0,05-05	0,05-1	1-10	<0,005	
Aluminij (≈2,70)	600	0,013	<0,03-1,3	0,2-2,5	<0,4-2	Vrlo velika	
Ferosilicij s 19% Si (≈6,93)	650	<0,005	<0,008	<0,13	0,5	0,3	
Bakar (8,89-8,94)	700	0,05	0,05-05	0,08-1	Vrlo velik	0,05- 0,5	
Mg legure (1,75-1,84)	200	0,02-0,05	Vrlo velika	Vrlo velika	Vrlo velika	0,03- 0,3	
Krom (≈7,1)	1000	<0,01	<0,1	0,6-3	0,3	<0,1	
Tantal (≈16,6)	500	0	0	0,05-0,05	0	>0,05	
Mjed (mesing) s 30-40% Zn (≈8,5)	200	0,02-0,05	Vrlo velika	Vrlo velika	Vrlo velika	0,03- 0,3	Decinkacija Sezonsko pucanje
Cirkonij (≈6,5)	500	0	0	<0,01	<0,025	<0,05	
Cink (≈7,1)	400	<0,01	0,01-0,3	Vrlo velika	Vrlo velika	0,4-5	

### 3.2. Legiranje – mjera zaštite od korozije

Legiranjem se mijenjaju svojstva čelika, a legirani čelik osim željeza i ugljika sadrži jedan ili više legirnih elemenata. Što znači da se čelik legira s određenom količinom nekog elementa, kako bi se dobilo traženo svojstvo, ili pak kombinacija svojstava, ali se neminovno legiranjem neka svojstva i pogoršavaju.

Legiranjem čelik dobiva određena svojstva:

- Otpornost prema koroziji,
- Veću tvrdoću,
- Čvrstoću,
- Elastičnost,
- Žilavost,
- Vatrootpornost i dr.

Legirni elementi u čeliku, promatrajući njihov afinitet prema ugljiku mogu biti:

- karbidotvorci (krom, molibden, niob, tantal, titan, vanadij i volfram) i
- nekarbidotvorci (mangan, nikal i kobalt).

Ako se promatra utjecaj legirnih elemenata na dijagram stanja željezo – ugljik, tada legirne elemente dijelimo na:

- gamagene elemente koji proširuju područje austenita (mangan, nikal, kobalt) i
- alfa-gene elemente koji proširuju područje ferita (krom, molibden, vanadij, volfram).

Gruba podjela čelika prema masenim udjelima legirnih elemenata je na:

- nisko legirane (s ukupnim udjelom legirnih elemenata do 5 %) i
- visoko legirane (s masenim udjelom barem jednog legirnog elementa više od 5 %).

Legirni elementi se u čelicima mogu pojaviti:

- rastvoreni u BCC rešetki ( $\alpha$  – Fe) ili u FCC rešetki ( $\gamma$  – Fe);
- kao spojevi sa željezom ili međusobno (karbidi i intermetalni spojevi) i kao
- nemetalni uključci (oksidi, nitridi, sulfidi i fosfidi).

Na intenzitet pasivacije čelika, najviše utječe maseni udio kroma, ali i drugih legirnih elemenata, kao što su Ni, Mo, W, Ti i Al. Na korozijsku postojanost utječe i maseni udio ugljika i što je taj udio viši, postoji veća opasnost od stvaranja karbida (posebno krom karbida). Postupcima pročišćavanja, može se smanjiti maseni udio ugljika do 0,02 %.

**Prvi neophodan uvjet** potpune korozijske postojanosti čelika je da taj čelik sadrži barem 12% Cr i to u čvrstoj otopini. Danas korozijski postojani čelici sadrže i do 30% Cr.

**Drugi uvjet** korozijske postojanosti čelika je homogena monofazna mikrostruktura.

Naime, korozijski postojani čelici bi teorijski morali imati potpuno feritnu, austenitnu ili Martenzitnu mikrostrukturu, bez karbida, oksida, ili drugih intermetalnih faza. Dakle, korozijski postojani čelici moraju sadržavati što viši postotak kroma i što niži postotak ugljika.

Monofazna feritna mikrostruktura postiže se legiranjem s alfa-genim elementima (feritotvorcima), od kojih je najjači krom, a tu su još silicij, aluminij, molibden, vanadij, niob i titan. Gamma-genim elementi (austenotvorci) omogućavaju stvaranje monofazne austenitne mikrostrukture; od ovih elemenata najjači je nikal, a tu su još mangan, kobalt, bakar i dušik.[1]

### **3.3. Zaštita od korozije oblikovanjem i konstrukcijskim mjerama**

Pravilnim oblikovanjem čeličnih konstrukcija, tehnologijom izrade i raznim projektnim rješenjima moguće je ukloniti ili barem malo usporiti pokretanje mnogih korozijskih procesa. Utjecaj ovih mjera odnosi se prvenstveno na koroziju u procjepu, galvansku koroziju, erozijsku i napetosnu koroziju.

Kod zaštite korozije konstrukcijskim mjerama preporuča se pridržavati sljedećeg:

- Ako su dobro izvedeni, zavareni spojevi imaju prednost pred vijčanim ili zakovičnim spojevima jer je kod njih česta pojava korozije u procjepu.
- Konstrukciji treba omogućiti otjecanje vode, odnosno treba je oblikovati tako da se na njoj ne zadržava voda.
- Kod konstrukcija treba birati materijal koji su što više otporniji na koroziju u određenim, predviđenim uvjetima. Materijali za pakiranje, brtvila, električnu, toplinsku i zvučnu izolaciju ne smiju apsorbirati vodu, te ne smiju sadržavati agresivne sastojke.
- Treba osigurati da se komponente u sustavu kod kojih je poznato da će brzo biti savladane pod utjecajem korozije daju jednostavni i lako zamijeniti.
- Spremnici, rezervoari i dr. trebaju biti konstruirani tako da se sa lakoćom prazne i čiste.
- Projektnim rješenjima osigurati jeftino, jednostavno i učinkovito održavanje.

- Zbog smanjenja opasnosti od napetostne korozije, izbjegavati mehanička naprezanja.
- Radi smanjenja opasnosti od erozijske korozije, izbjegavati oštre zavoje u cjevovodnim sustavima.
- Izbjegavati dodir različitih metala udaljenih u galvanskom nizu radi sprečavanja galvanske korozije.
- Kad god je to moguće izbjegavati kontakt s agresivnim česticama.
- Izbjegavati svaku heterogenost (temperaturne razlike, mjesta gdje se skuplja vlaga, lokalna naprezanja i dr.).
- Porastom temperature korozija se jako ubrzava zato treba izbjegavati lokalna intenzivna zagrijavanja.

U cilju produžavanja vijeka trajanja konstrukcija, te postizanja projektirane konstrukcijske postojanosti i usporavanja korozijskih procesa, sve navedene konstrukcijske mjere treba koristiti što više.[2]

### **3.4. Elektrokemijske metode zaštite**

Kod elektrokemijske metode zaštite metal se održava ili u pasivnom stanju (u području potencijala pasivacije) ili u imunom stanju (pri potencijalima nižim od stacionarnih) kada ne korodira. Elektrokemijska zaštita može biti katodna i anodna što ovisi o načinu polarizacije.[4]

- Katodna zaštita – snižavanje elektrodnog potencijala, odnosno pomakom elektrodnog potencijala metala u negativnom smjeru.
- Anodna zaštita – povišenje elektrodnog potencijala, odnosno pomak elektrodnog potencijala metala u pozitivnom smjeru.

Kod katodne zaštite polarizacija metalne konstrukcije može se provesti pomoću vanjskoga izvora struje, žrtvovanim anodama (Mg, Al, Zn) (protektorima). Izbor katodne zaštite ovisi o svakom konkretnom slučaju, kod stacionarnih objekata primjenjuje se zaštita sa vanjskim izvorom, protektori se upotrebljavaju na pokretnim objektima i mjestima gdje prijete opasnost da iskra izazove požar ili eksploziju. Obično se koristi kao sekundarni zaštitni sustav koji počinje djelovati nakon oštećenja primarnog.

Polarizacija metalne konstrukcije kod anodne zaštite može se provesti izvorom istosmjerne struje (spajanje s pozitivnim polom) i katodnim protektorima (spajanje sa elektropozitivnijim metalom, grafit). Anodna zaštita se primjenjuje samo na metalima kod kojih postoji prijelaz u pasivno stanje, kao što su čelici, aluminijske legure, nehrđajući čelici, kromove i titanove legure. Zbog svojih ograničenja i skupe instalacije anodna zaštita se ne upotrebljava često.[2]

### 3.5. Zaštita prevlakama

Najraširenija metoda zaštite od korozije je postupak nanošenja prevlaka na površinu čeličnih konstrukcija. Osim same zaštite od korozije, nanošenjem prevlaka postižu se neka fizička svojstva, popravljaju se estetski izgled čelika, mogu se popraviti lošiji proizvodi, dolazi do zaštite mehaničkog trošenja i dr. Osnovna podjela prevlaka je na anorganske i organske.[2]

#### 3.5.1. Anorganske prevlake

Anorganske prevlake dijelimo na metalne i nemetalne anorganske prevlake.

Tablica 3.: Postupci pripreme podloge, nanošenja i obrade prevlaka[4]

<b>PRIPREMA PODLOGE</b>	<b>NANOŠENJE PREVLAKE</b>	<b>NAKNADNA OBRADA PREVLAKE</b>
ODMAŠČIVANJE	KEMIJSKI POSTUPAK	KEMIJSKA OBRADA
MEHANIČKA PREDOBRAĐA	FIZIKALNI POSTUPAK	MEHANIČKA OBRADA
KEMIJSKA PREDOBRAĐA	ELEKTROLITIČKI POSTUPAK	ELEKTROKEMIJSKA OBRADA
		TOPLINSKA OBRADA

#### 3.5.1.1. Anorganske metalne prevlake

Anorganske metalne prevlake prema zaštitnim svojstvima mogu biti katodne ili anodne.

Katodne prevlake metal zaštićuju mehanički, a dobre su samo ako su u potpunosti kompaktne. S obzirom na metal na koji se nanose, katodne prevlake imaju pozitivniji el. potencijal. Katodne prevlake mogu biti npr.: Pb, Cr i na ugljičnom čeliku Ag, Ni, Au, Sn.

Anodne prevlake mogu biti npr.: Zn i na ugljičnom čeliku Cd. One djeluju kao katodni protektori, dobre su i kada nisu kompaktne, a metal zaštićuju elektrokemijski i mehanički. S obzirom na metal na koji se nanose, anodne prevlake imaju negativniji el. potencijal.

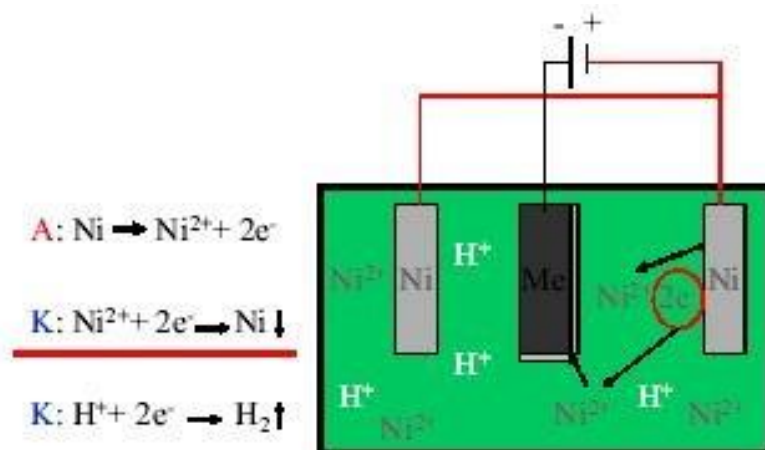
Postupci nanošenja metalnih prevlaka:

- **Fizikalni postupak:** vruće uranjanje, metalizacija prskanjem, platiranje, nataljivanje, navarivanje, oblaganje, lemljenje, lijepljenje;
- **Elektrokemijski postupak:** galvanotehnika;
- **Kemijski postupak:** ionska zamjena, katalitička redukcija.

Galvanizacija, dobivanje prevlaka vrućim uranjanjem i prskanje metala, postupci su koji se najviše koriste za zaštitu dijelova strojarskih konstrukcija, odnosno kompletnih konstrukcija.

- Galvanizacija je postupak obrade metalnih predmeta u elektrolitu uz primjenu električne struje, odnosno nanošenje metalnih prevlaka katodnom redukcijom iona koji sadrže metal. Još se naziva galvanostegija ili galvanotehnika, te je najrašireniji postupak nanošenja metalnih prevlaka.
  - Prednosti postupka galvanizacije su:
    - često prijanjanje prevlake na podlogu,
    - debljina prevlake jednostavno se može regulirati,
    - postiže se visoka čvrstoća prevlaka,
    - mogućnost nanošenja raznovrsnih metalnih prevlaka,
    - niske temperature obrade.
  - Nedostaci postupka galvanizacije su:
    - poroznost tanjih prevlaka utjecajem galvanskog pittinga,
    - mehaničke napetosti,
    - promjene kemijskog sastava elektrolita,
    - slaba mikroraspodjela.[4]





Slika 6.: Postupak galvanizacije (niklanje)[4]

- Dobivanje metalne prevlake vrućim uranjanjem je postupak koji se temelji na kratkotrajnom držanju predmeta u talini metala koji se nanosi. Primjena postupka je za dobivanje prevlaka metala čije je talište relativno nisko: Zn (420 °C), Sn (232 °C), Pb (327 °C), te u zadnje vrijeme i Al (720 °C).

Prevlake koje dobijemo postupkom vrućeg uranjanja su deblje od prevlaka koje dobijemo postupkom galvanizacije, zato se koriste u slučajevima kada je potrebna deblja prevlaka. Primjer ovog postupka je vruće pocinčavanje, koje je najrašireniji postupak zaštite od atmosferske korozije i od korozije u neutralnom tlu.

- Prednosti postupka:

- znatne količine robe mogu se obraditi velikom brzinom,
- visokoproduktivni postupak metalizacije,
- debljina prevlake iznosi do 250  $\mu\text{m}$ ,
- dobre su zaštitne moći i povoljnih mehaničkih svojstava.

- Nedostaci postupka:

- predmeti se mogu izobličiti zbog visokih temperatura obrade,
- veliki gubitak rastaljenog metala.

- Dobivanje metalne prevlake prskanjem rastaljenog metala postupak je koji pomoću komprimiranog zraka naštrcava talinu metala po površini koju je potrebno zaštititi.

Iz mlaznice izlazi rastaljeni metal u obliku vrlo sitnih čestica i stvara sloj prevlake u kojem su čestice povezane bez ikakvog reda, zbog čega je u takvoj prevlaci velik broj pora. Da bi se povećalo prijanjanje potrebno je zagrijati podlogu na koju udaraju čestice prethodno zagrijati, jer čestice duže zadržavaju plastičnost i toplinu. Ovaj postupak je pogodan za zaštitu od atmosferske korozije, pogodan je za reparature istrošenih dijelova, povećanje dekorativnosti površine, te dobivanja specijalnih svojstava površine. Da bi čestice metala bolje prijanjale na površinu, nakon odmašćivanja potrebno je pjeskarenje radi dobivanja hrapave površine, zatim može započeti postupak naštrcavanja rastaljenog metala.

- Prednosti postupka:

- moguće je zaštititi velike konstrukcije i predmete koji su već u sklopljenom, završnom stanju,
- dosta jednostavan način rada,
- moguće je regulirati debljinu prevlake,
- moguća je zaštita na terenu.

- Nedostaci postupka:

- veliki gubitak materijala kod prskanja,
- niska čvrstoća spajanja prevlake za površinu predmeta,
- kod tanjih slojeva velika poroznost prevlake.

### *3.5.1.2. Anorganske nemetalne prevlake*

Slojevi nastali mehaničkim ili kemijskim putem, odgovarajućeg kemijskog spoja na površini metala nazivaju se anorganske nemetalne prevlake. Emajlirane prevlake koje slabije prijanjaju na materijal dobivaju se mehaničkim putem, te se koriste u vrlo agresivnim sredinama za zaštitu metala od korozije. Dok dobivene prevlake kemijskim putem mogu obojiti metal reakcijom između metala i komponenata same okoline. Tako nastaje umjetno izazvana korozija, s obzirom da se stvaraju prevlake korozijskih produkata koje djeluju zaštitno. Oksidne i fosforne prevlake su najčešće primjenjivane anorganske nemetalne prevlake.

- Oksidne prevlake na čeliku

Primjenjuju se elektrokemijski, kemijski i toplinski postupci. Kemijski postupak stvaranja oksidnih prevlaka na čeliku naziva se bruniranje, a elektrokemijski i toplinski postupci se rijetko koriste.

Bruniranje je postupak obrade u vrućim lužnatim otopinama koje sadrže nitrata i nitrite. Prevlaka je  $Fe_3O_4$  crne boje. Primjenjuje se za obradu oružja i dijelova optičkih aparata jer prevlaka apsorbira svjetlo.

- Fosfatne prevlake

Proces obrade metala u otopinama fosfata i fosforne kiseline naziva se fosfatiranje. Povećavaju otpornost prema atmosferskoj koroziji ili su pred obrada za bojanje i lakiranje. Fosfatiranje može biti elektrokemijsko ili kemijsko. Elektrokemijsko je skupo i ne daje kvalitetne prevlake pa nema veću primjenu. Kemijski postupci fosfatiranja se provode raspršivanjem ili potapanjem u otopini, a mogu biti vrući ili hladni. Fosfatni slojevi ne pružaju potpunu zaštitu od korozije zbog svoje poroznosti, ali su odlična podloga za nanošenje organskih podloga.[2]

### 3.5.2. Organske prevlake i premazi

Organske se prevlake nanose na osnovni materijal zbog korozijske zaštite ili kao dodatna zaštita na metalne i nemetalne anorganske prevlake. Organski premazi se nanose na metalne površine obično u dva ili više slojeva, te oni čine sustav premaza.

Postupci zaštite organskim premazima uključuju:

- bojanje i lakiranje,
- plastifikacija,
- gumiranje,
- konzervacija,
- bitumenizacija.

- **Komponente zaštitnog premaza**

Nema velike razlike između boje i premaza, no treba je definirati. Za opis pigmentnih materijala koristi se izraz boja, dok bezbojne filmove nazivamo lakovi. Premaz je općenitiji opis materijala (obično tekućeg), koji je primijenjen na podlogu stvorio "suhi" film.[2]

Svako premazno sredstvo ili boja sastoji se od sljedećih komponenti:

- vezivno sredstvo (jedno ili više njih),
- otapalo (voda ili organsko otapalo),
- pigmenti,
- aditivi,
- punila.

### **Vezivno sredstvo**

Veziva povezuju sve komponente u homogenu cjelinu, te su nositelji premaza. Vezivo čini nehlapivi organski dio premaznih sredstava, osigurava prijanjanje na površinu i povezuje druge komponente. Najpoznatija veziva su na bazi alkidnih smola, klorkaučuka, bitumena, epoksidnih smola, silikonskih i poliuretanskih smola.

Podjela veziva prema načinu sušenja:

- Fizikalno sušenje
- Kemijsko sušenje:
  - oksidacijom,
  - poliadicijom,
  - polikondenzacijom.[2]

### **Otapalo**

Otapala (razrjeđivači) se koriste za odmaščivanje i skidanje starih premaza, to su hlapive organske tvari i one fizikalno otapaju veziva premaznih sredstava. Prvenstveno im je uloga regulirati reološka svojstva boje.

Dijelimo ih na:

- ugljikovodici,
- klorirani ugljikovodici,
- derivati ugljikovodika sa kisikom.[2]

## **Pigmenti**

Pigmenti su netopive anorganske ili organske tvari koje selektivno apsorbiraju i selektiraju svjetlost. Pigmenti djeluju inhibirajuće (fosfati) i neinhibirajuće (aluminij,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , itd.), a premaz čine neprovidnim i obojenim. Pigmenti premazima povećavaju kemijsku postojanost, zaštitna svojstva i toplinsku stabilnost.[2]

## **Punila**

Punila su jeftini pigmenti, praškaste su tvari anorganskog podrijetla koje smanjuju cijenu finalnog proizvoda i poroznost. Punila se uglavnom dodaju u boje radi kontrole reoloških svojstava boje, za smanjenje ili povećanje sjaja, za poboljšanje mazivosti ili svojstava tečenja, za poboljšanje svojstava barijere filma i za poboljšanje mehaničkih svojstava. Punila se dobivaju sintetskim taloženjem iz vodenih otopina ili iz prirodnih minerala.[2]

## **Aditivi**

Unatoč neznom udjelu u formaciji premaza, smatramo da su aditivi tvari koje imaju značajan utjecaj na svojstva. Aditivi se dodaju kako bi dobili specifična svojstva koja se obično teško postižu ili da bi se spriječili nedostaci u premazima.

Dijele se na skupine prema nedostatku na koji djeluju:

- reološki aditivi,
- okvašivači i disperzanti,
- aditivi za poboljšanje izgleda površine,
- konzervansi,
- antipjeniči,
- sušila i katalizatori,
- korozijski inhibitori,
- svjetlosni stabilizatori.[2]

- **Tehnologija nanošenja premaza**

Od suhog premaza očekuje se da zadovolji neka svojstva kao što su:

- otpornost na trošenje,
- prionjivost na podlogu,
- elastičnost,
- otpornost na mehaničke utjecaje,
- otpornost na vremenske utjecaje,
- kompaktnost,
- kemijska inertnost,
- minimalna apsorpcija,
- nepropustljivost za korozijske čimbenike,
- dekorativnost.

Tehnologiju nanošenja boje potrebno je poznavati kako bi mogli zadovoljiti sve ove zahtjeve ili barem jedan dio koji očekujemo kod antikorozijske zaštite čeličnih konstrukcija. Odaberemo li najskuplji i najbolji premazni sustav još uvijek ga možemo upropastiti nepažljivim postupcima prije, za vrijeme i nakon nanošenja.

Tehnologija nanošenja premaza obuhvaća:

- priprema podloge (sastoji se od čišćenja i stvaranja uvjeta stanja površine),
- samonanošenje premaznih sredstava,
- završna obrada (sušenje).

Željeni zaštitni učinak se ne može postići ako se tehnološki postupci ne provedu kako treba.[2]

- **Podjela premaza prema načinu sušenja:**
  - sušenje isparavanjem hlapivih sastojaka,
  - oksidativno sušivi,
  - sušivi uz prisustvo vlage iz zraka,
  - kemijski umrežavani,
  - sušivi pri povišenim temperaturama,
  - pomoću UV.[2]



*Slika 7.: Nanošenje premaza[5]*

### **3.6. Zaštita od korozije obradom korozivne sredine**

Obradom korozivne sredine može se smanjiti brzina korozije metalnih konstrukcija u otopinama koje se ne obnavljaju ili se samo povremeno obnavljaju. Ove se metode najviše primjenjuju za zaštitu izmjenjivača topline, kondenzatora, parnih kotlova, kada za dekapiranje, te raznih cisterni namijenjenih za transport agresivnih otopina. Smanjenje korozivnosti vanjske sredine koja djeluje na metale i legure može se provesti na način da se:

- ukloni aktivator korozije iz agresivne sredine i
- uvođenjem inhibitora korozije u agresivnu sredinu.

Aktivatori korozije i sastojci koji povećavaju agresivnost korozivne sredine mogu se ukloniti na nekoliko načina kao što su:

- Uklanjanjem kisika iz vode,
- Uklanjanjem čvrstih čestica,
- Neutralizacijom kiseline,
- Uklanjanjem soli iz vode,
- Snižanjem relativne vlažnosti zraka.

### **Zaštita od korozije uvođenjem inhibitora**

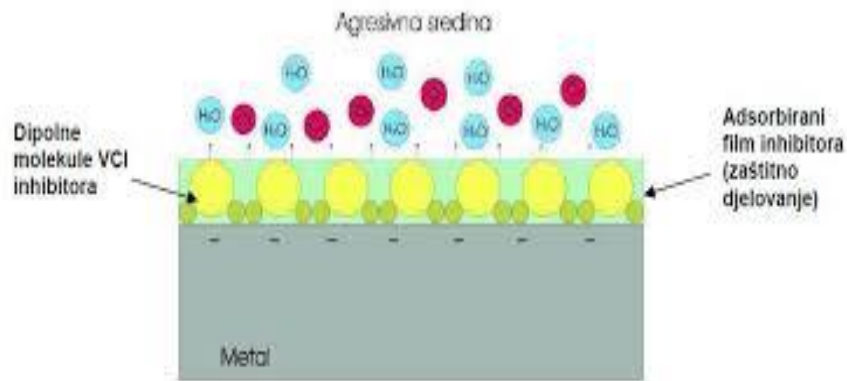
Inhibitori su tvari anorganskog ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti, prema načinu djelovanja mogu biti anodni, katodni i kombinirani.

Anodni inhibitori djeluju tako da sa ionima konstrukcijskog materijala, koji su nastali na lokalnim anodama, daju slojeve koji su netopivi korozijski produkti. Mogu također djelovati kao oksidativne tvari koje uzrokuju pasivizaciju anodne površine, a u slučaju da se ne doda dovoljno anodnih inhibitora mogu uzrokovati pitting, zato se nazivaju opasni inhibitori.

Katodni inhibitori djeluju kao taložni inhibitori koji na lokalnim katodama tvore netopive ili slabo topive korozijske produkte, koji povišenjem aktivacijskog prenapona izravno koče katodnu reakciju. Katodni inhibitori nisu opasni, te dodani u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije.

Parnofazni inhibitori VPI (vapour phase inhibitors) ili isparljivi inhibitori VCI (volatile corrosion inhibitors) su hlapive, čvrste, organske tvari čijim se parama zasićuje atmosfera ili drugi plin. Ovi inhibitori djeluju tako da usporavaju katodni ili anodni proces adsorpcije na površini metala, a koriste se za sprječavanje atmosferske korozije u zatvorenim prostorima, za vrijeme transporta ili skladištenja.





Slika 8.: Mehanizam djelovanja hlapivih inhibitora[5]

### 3.7. Privremene mjere zaštite od korozije

Ponekad je potrebno zaštititi metal samo na kratko vrijeme, u slučajevima poput transporta metala do mjesta konačne obrade, za vrijeme čuvanja rezervnih dijelova, za vrijeme međuoperacija ili tijekom skladištenja. Tada se primjenjuje privremena zaštita najčešće kombiniranjem premaza i inhibitora.[2]

Privremena zaštita od korozije izvodi se pakiranjem u plastične vreće i vakuumiranjem, obmatanjem masnim papirima, mazanjem uljem ili mastima i dodavanjem u ambalažu odvlaživača zraka (npr. silikagel).

Važna je efikasnost privremene zaštite i da se lako uklanja sa proizvoda, ako je moguće bez dodatnih troškova.

## 4. PRAKTIČNI DIO

### 4.1. KORIŠTENI MATERIJALI - SIVI I NODULARNI LIJEV

U nastavku su opisana glavna svojstva sivog i nodularnog lijeva zbog njihove primjene u tvrtki Livar d.d. s kojom sam surađivala tijekom izrade praktičnog dijela završnog rada.

Ukoliko metalna legura nakon ulijevanja u kalup i kristalizacije nije bila podvrgnuta niti toplom niti hladnom oblikovanju deformiranjem smatra se lijevom. Ljevove dijelimo s obzirom na mehanička i kemijska svojstva.

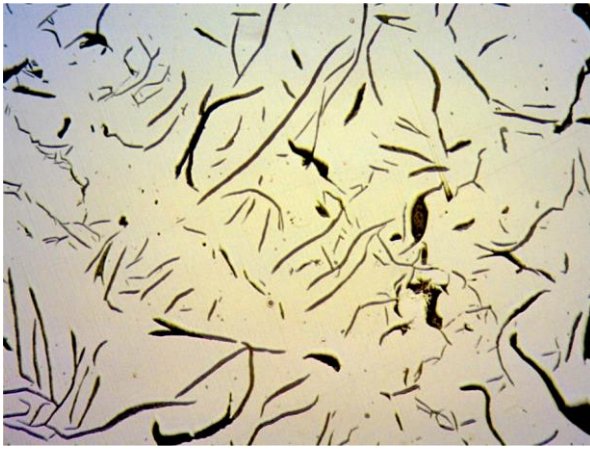
U željezne ljevove spadaju:

- Čelični lijev,
- Bijeli tvrdi lijev,
- Sivi lijev,
- Nodularni lijev,
- Temper lijev.

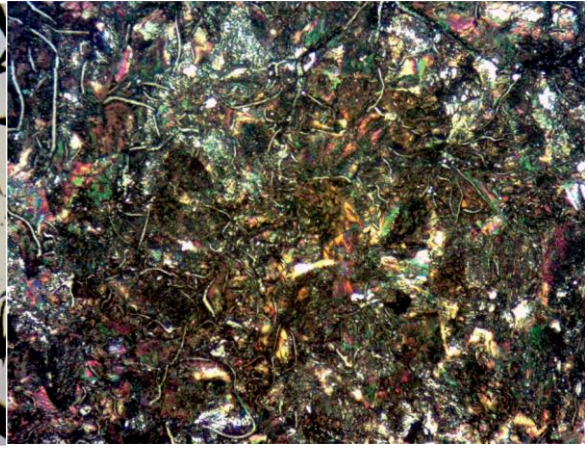
Mehanička svojstva čeličnog, temper i nodularnog lijeva su dobra istezljivost i žilavost, dok je svojstvo bijelog tvrdog lijeva i sivog lijeva, krhkost. Kod kemijskog sastava ljevova važan je maseni udio ugljika. U skupinu ljevova s niskim masenim udjelom ugljika do 0.5% ugljika spada čelični lijev, dok u skupinu s visokim masenim udjelom ugljika od 2.2% do 4.5% spada temper, bijeli tvrdi, sivi i nodularni lijev.[6]

#### 4.1.1. Sivi lijev

Sivi lijev je legura željeza i ugljika s dodatkom silicija, mangana i fosfora. Veći dio ugljika izdvaja se u obliku listića (lamela) grafita, i to za vrijeme skrućivanja ili pri njenom žarenju, time se postiže veća sposobnost prigušivanja vibracija i bolja obradivost. Kemijski sastav, obrada legure i način skrućivanja također utječu na izlučivanje grafita. U leguri sa željezom jako je važna količina ugljika i silicija, jer što je njihova količina veća to se više izlučuje grafit, te su grafitni listići veći. Sivi lijev može imati različita mehanička i fizička svojstva pri jednakoj količini ugljika i pri jednakom udjelu grafita, a do tih promjena dolazi zbog različitog oblika grafita, njegove raspodjele i veličine. Čvrstoća sivog lijeva više ovisi o obliku i količini grafita nego o osnovnoj strukturi.[8]



Slika 9.: Mikrostruktura sivog lijeva (polirano)[1]



Slika 10.: Mikrostruktura sivog lijeva (nagriženo)[1]

Tablica 4.: Kemijski sastav sivog lijeva [6]

KEMIJSKI ELEMENTI	POSTOTAK
ugljik (C)	2,0 – 4,5 %
silicij (Si)	0,5 – 3,5 %
mangan (Mn)	Do 1,3 %
fosfor (P)	Do 1 %
sumpor (S)	0,06 – 0,15 %

Svojstva sivog lijeva su:

- Tehnološka svojstva
  - mogu se lijevati odljevci svih masivnosti
  - visok postotak ugljika
  - dobra rezljivost i slaba zavarljivost zbog male istezljivosti
  - jeftinija i jednostavnija proizvodnja od drugih
- Mehanička svojstva
  - slaba žilavost
  - relativno niska vlačna čvrstoća
  - visoka tlačna čvrstoća

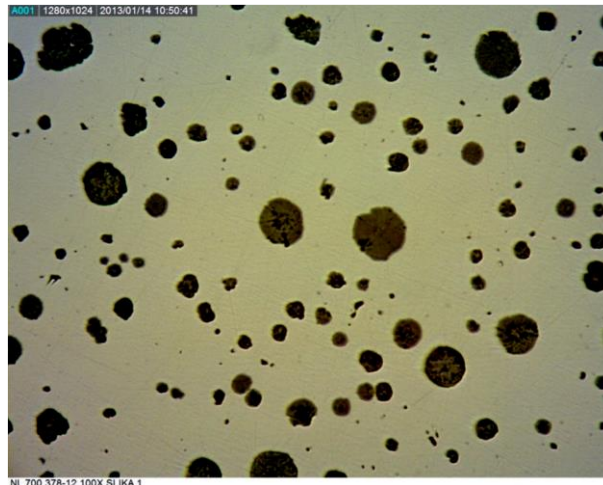
Neka od primjena sivog lijeva su kućišta motora i reduktora, klizni ležajevi, kalupi za staklo, postolja alatnih strojeva, košuljice cilindara, i dr.[8]

#### 4.1.2. Nodularni lijev

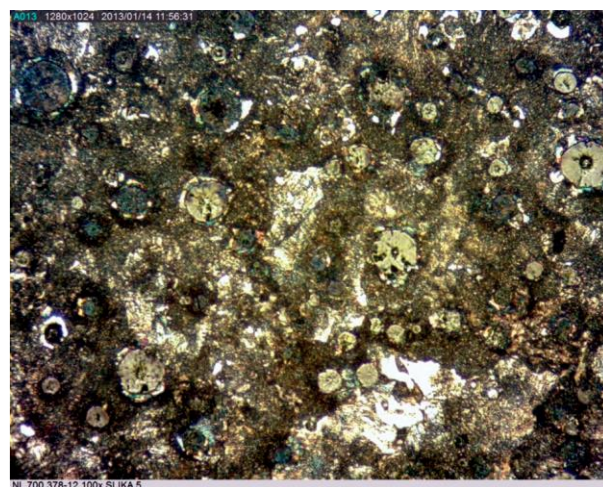
Nodularni lijev se dobiva dodavanjem magnezija u rastaljeno lijevano željezo, koje sadrži relativno visoku udio ugljika. Magnezij uzrokuje kristalizaciju grafita u obliku kuglica. Odnosno nodularni lijev je: “ ljevačka pseudobinarna legura željeza i ugljika koji se pretežnim dijelom izlučio u obliku kuglastog grafita.“

Mikrostruktura nodularnog lijeva:

- Feritna (mala čvrstoća, veća istezljivost),
- Perlitna (veća čvrstoća, manja istezljivost),
- Austenitna,
- Feritno – perlitna.[7]



Slika 11.: Mikrostruktura nodularnog lijeva(polirano)[1]



Slika 12.: Mikrostruktura nodularnog lijeva(nagriženo)[1]

Ako nodularni lijev usporedimo sa sivim lijevom, nodularni lijev ima visoku čvrstoću, žilavost i savitljivost. Žilavost je niža nego kod temper lijeva zbog visokog sadržaja silicija, ali je savitljivost i čvrstoća veća.

Tablica 5.: Kemijski sastav nodularnog lijeva[6]

KEMIJSKI ELEMENTI	POSTOTAK
ugljika	3,2 – 3,8 %
silicij	2,4 – 2,8 %
mangan	< 0,5 %
fosfor	< 0,045 %
sumpor	< 0,01 %

Svojstva nodularnog lijeva:

- Može se zavarivati,
- Visok modul elastičnosti,
- Visoka dinamička izdržljivost i vlačna čvrstoća,
- Dobra obradivost odvajanjem čestica,
- Dobra ležišna svojstva.

Primjena nodularnog lijeva: zupčanici, rotori pumpa, koljenaste i bregaste osovine motora, poklopci kliznih ležajeva, košuljice cilindara motora i kompresora, i dr.[7]



Slika 13.: Primjena nodularnog lijeva: zupčanici, rotori pumpa[7]

## 4.2. PROCES IZRADE PROIZVODA DANA 104

U praktičnom dijelu završnog rada opisani su svi postupci koji su potrebni za izradu jednog proizvoda, u ovom slučaju radi se o proizvodu DANA 104, te je posebna pozornost posvećena antikorozijskoj zaštiti u ljevaonici. Cijeli proces izrade proizvoda, od izrade nacрта do pakiranja samog proizvoda odvija se u tvrtki Livar d.d..

### 4.2.1. NAMJENA I UPOTREBA PROIZVODA DANA 104

DANA 104 naziv je za proizvod koji se uglavnom koristi kao sastavni dio kamiona i ostalih vozila s hidrauličkim sustavom. Proizvod je zapravo prostor u čijem se unutarnjem dijelu kalupa nalazi hidraulički filter. Uloga filtra u hidrauličkom sustavu je da razinu prljavštine ulja smanji na vrijednost koja je dozvoljena, te se time štite hidraulički dijelovi od prekomjernog trošenja i povećava se pouzdanost rada hidrauličkog i ostalih sustava.[10]



Slika 14.: Hidraulički filtri[10]

Ako je hidraulički sustav zatvorenog tipa s vremenom će se nakupiti nečistoće kao što su metalna prašina i iverje. Uzrok tomu je trenje pokretnih dijelova u sustavu, kao što su: filtri, cilindri, hidro pumpe, i dr. Trenje također uzrokuje zagrijavanje hidrauličkog sustava, pa prekomjerna temperatura uzrokuje veće trošenje pokretnih dijelova. Može doći i do pregrijavanja, što se uglavnom događa kada je sustav opterećen ili su vremenske prilike prevruće, te nedostatkom tekućine u sustavu, što skraćuje životni vijek glavnog hidro motora. Osim za filtriranje DANA 104 dizajnirana je i za hlađenje hidrauličkog sustava. Kućište filtra ima protočne kanale za rashladnu tekućinu koja hladi ulje i filter. Prednost ovog sustava je hlađenje sustava prije njegovog ponovnog ulaska u hidro motor.[10]



Slika 15.: DANA 104[10]

#### 4.2.2. PROIZVODNI PROCES DANA 104

U nastavku su opisani proizvodni procesi koji su potrebni za izradu proizvoda DANA 104, a to su:

- Lijevanje,
- Pjeskarenje,
- Zaštita od korozije bojanjem,
- Mehanička obrada,
- Kontrola kvalitete,
- Pakiranje.

##### 4.2.2.1. Lijevanje

Ljevarstvo je tehnologija oblikovanja metalnih predmeta lijevanjem rastaljenog metala (taline) u kalupe da bi se tako dobio konačan proizvod — odljevak.[7]Lijevanjem možemo dobiti najrazličitije složene oblike kao npr. s vanjskim i unutarnjim šupljinama i to primjenom ekonomičnih i jednostavnih postupaka. [7]

Mnogo dijelova strojeva, čija bi izrada inače bila od više komada, primjenom tehnologije lijevanja može se odliti u jednom komadu.[9]

U tvrtki Livar d.d. lijeva se sivi ili nodularni lijev, DANA 104 izrađena je od nodularnog lijeva, a postupak lijevanja je pješčani lijev (lijevanje u pijesak). Jezgra koja je potrebna za oblikovanje unutrašnje površine odljevka, također je izrađena u tvrtki.



*Slika 16.: Drvena jezgra [10]*

U odjelu za oblikovanje se formiraju kalupi za pijesak, u koje se umeću jezgre i keramički filtri. Osnovno sredstvo za izradu kalupa je ljevački pijesak. Ljevački pijesak se doprema u strojeve za pripremu pijeska za kalupe, te se u njega dodaje vezivo i voda. Svi sastojci moraju biti u propisanoj količini kako bi se izbjegle pogreške u oblikovanju. Stroj ima dvodijelne modele izrađene u većini slučajeva od aluminija, modeli su izrađeni u obliku vanjskog oblika odljevaka, također imaju modele koji služe za lijevanja taline i ventilacije. Dopremom pijeska do stroja, ispunjava se kalupnik modela koji se nakon postupka prevozi kolicima. Kad je kalupnik pun, stroj utisne model u pijesak tako da oblik modela ostane u pijesku. Postoje još dvije radne operacije između stroja i linije za umetanje jezgre. Prvi postupak je okretanje utisnutog kalupnika tako da višak pijeska otpadne iz kalupa. Nakon okretanja kalupnik ulazi u prostor gdje se model probija zbog provjetravanja i hlađenja taline. Kalupnik se dovodi do rešetki gdje su umetnute jezgre, keramički filter i uljevni sustav (pojila i ušća). Keramički filteri koriste se za uklanjanje neželjenih nečistoća iz taline.





*Slika 17.: Keramički filter[10]*

Ljevački kalupi su izrađeni iz dva dijela, od gornjaka i donjaka. Sljedeći je postupak okretanje i spajanje gornjaka i donjaka, gdje se kalupnik bez jezgre preokreće i prekriva kalupnikom u koji je umetnuta jezgra zatim je kalup spreman za lijevanje. Kalupi se prilikom lijevanja voze tračnicama u vagonima. Kad se u kalup ulije rastaljeni metal, mora se ohladiti, nakon čega se odljevak vadi iz kalupa i odvozi se na vibrirajući stol, gdje se grubo čisti od pijeska. Vagoni i kalupi idu na čišćenje i tako se ciklus ponavlja.

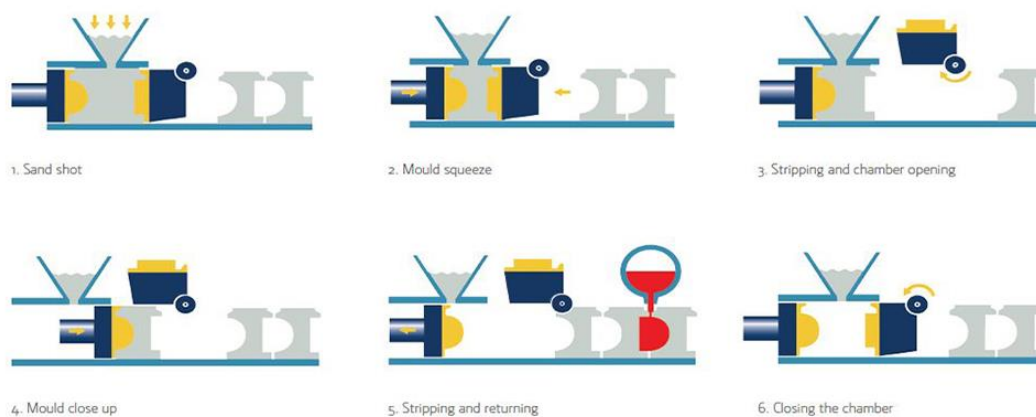
Tvrtka Livar d.d. posjeduje automatsku liniju za kalupljenje (MecMaster), koja ima automatiziranu pripremu pijeska za srednje i velike odljevke (proizvode). Zbijanje pijeska postiže se vakuumom i kompresijom hidrauličnim čepovima. Veličina okvira je 1150 x 850 x 290x (2x). Kapacitet linije za kalupljenje je 60 kalupa na sat. Modeli su na metalnim pločicama modela, koje mogu biti cijele ili polovice. Priprema smjese pijeska provodi se u turbinskoj miješalici, a kvaliteta smjese pijeska regulira se propisanim receptima.



*Slika 18.: MM automatska linija za kalupljenje[10]*

Također tvrtka posjeduje i BMD automatsku liniju za kalupljenje, za srednje i velike kalupe. Sabijanje pijeska postiže se vakuumom. Veličina okvira je 800 x 600 x 250 x (2). Kapacitet linije za kalupljenje je 94 kalupa na sat. Modeli su metalne pločice modela koje mogu biti cijele ili polovice.

DISA je ljevački stroj za lijevanje tekućih metala u kalupe za pijesak. DISA ima poseban sustav oblikovanja bez okvira. Kalupi su izrađeni od komprimiranog pijeska koji se kontinuirano nadopunjuju na dovodnoj liniji. Ima vertikalni način ulijevanja taline u kalupe. U tvrtki Livar d.d., DISA matice je najbrža linija u usporedbi s BMD i MM. Za 12 sekundi kalup je spreman za lijevanje. U DISI glava čekića igra važnu ulogu. Glava čekića utiskuje pijesak za lijevanje u alat kako bi stvorila otisak u kalupu. Kad se utisne prvi dio modela, automatski se umetne jezgra. Jezgra se ručno montira na alat za umetanje putem vakuuma. Procesne linije na DISI su: pješčanik, AMC linija u koju se ulijeva talina, linija za hlađenje, bubanj Didian i stol za sortiranje. Didian bubanj je preposljednji postupak u kojem se odljevci čiste u vibracijskom bubnju koji u sebi ima posebno brusno kamenje.



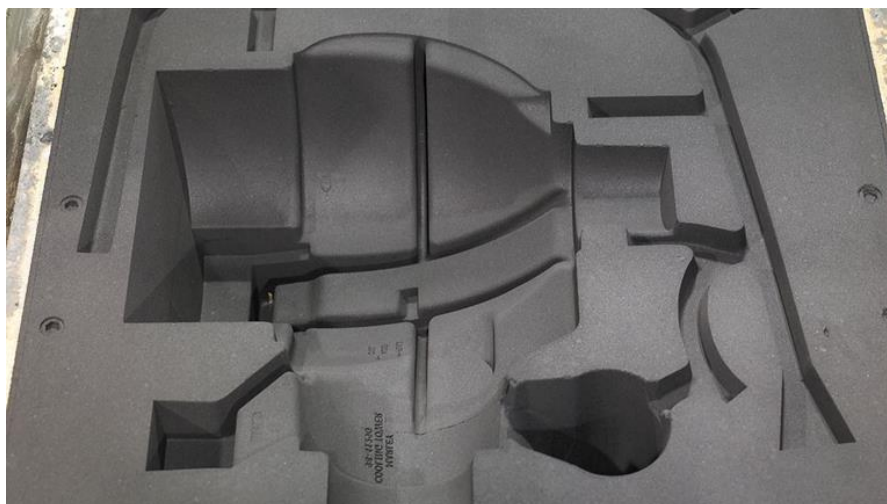
Slika 19.: Oblikovanje bez kalupnika[10]



*Slika 20.: Modeli na AMC liniji*

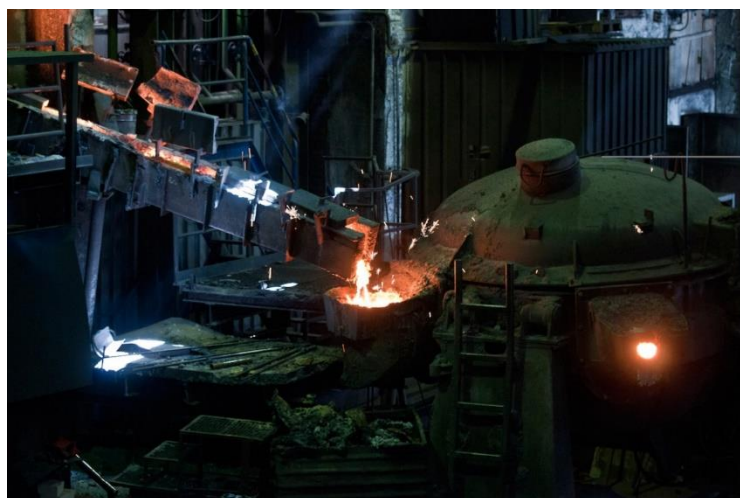
Pijesak za lijevanje koji se koristi za izradu kalupa je vlažni pijesak, odnosno još ga nazivaju zeleni pijesak (eng. green sand) jer sadrži vlagu prilikom ulijevanja. Dizajn zelenog pijeska je fleksibilan, brz i jeftin postupak izrade kalupa za visokokvalitetne odljevke od željeza i legura. Zeleni pijesak sastoji se od kvarcnog pijeska pomiješanog s vodom, bentonitom i drugim dodacima poput ugljena u prahu za upotrebu u željezu.[9] Kompresija ove vlažne smjese pretvara je u čvrsti oblik koji može sigurno zadržavati rastaljenu talinu. Tijekom automatske izrade kalupa, strojevi komprimiraju pijesak na ploču s modelom. Zatim se kalup zatvara, stvarajući šupljinu koju ispunjava talina. Nakon hlađenja, odljevci se odvajaju od kalupa i zeleni pijesak se može ponovno koristiti. Najpopularniji automatizirani postupci oblikovanja za lijevanje zelenog pijeska su oblici s vertikalnom pločom za paljenje i vodoravnim ulaznim otvorom.

Zeleni pijesak je u masivnoj proizvodnji sastavljen od starog (crnog) pijeska, novog pijeska i kvarcnog pijeska. Početak dobivanja ljevačkog pijeska kreće od miješalice. Miješalice miješa stari crni pijesak, novi pijesak i kvarcni pijesak, pri miješanju dodaje se voda da se dobije smjesa koja će postojati kada se utisne model. Kad je smjesa spremna za upotrebu, pijesak odlazi na prskalicu. Nakon toga putuje do traka, gdje se kasnije odmjerava. Kada se naručuje pijesak u ljevaonici, on se dovodi do bunkera na stroju duž remena. Odatle linija automatski ispušta pijesak u alat kako bi nastao oblik.



*Slika 21.: Oblik modela otisnut u pijesak[10]*

Talionica je procesni odjel u Livaru d.d.. Rastaljeni metal mora biti blizu kalupa za lijevanje. Proces počinje u skladištu metala koji se koristi za lijevanje. Radnik na linijskoj dizalici dobiva naredbu koliko kilograma i kojeg metala treba, te uzima metal magnetom na dizalici i stavlja ga u poseban spremnik za sirovinu, nakon toga sirovina putuje do kupole.



*Slika 22.: Talionica[10]*

Kupola je najvažniji dio ljevaonice, u kojoj se topi metal (sirovina). Spremnik se prebacuje iz vanjskog spremišta na vrh kupole na visinu od 10 m. Osim sirovine, dodaju se i nečistoće za poboljšanje svojstava odljevaka. Kupola se zagrijava koksom. Kad kupola dosegne 1400 Celzijevih stupnjeva, talina se ispušta u spremnike koji se odvoze viličarima do kalupa za oblikovanje, tako da lijevanje u kalupe može započeti. Osim taljevine, izlučuje se i troska. Troska je livarski otpad koji se eliminira tijekom taljenja i nije za nikakvu daljnju upotrebu.

Peć za taljenje ima svojstvo topljenja sirovina, grije se električnom energijom, uglavnom se koristi za zagrijavanje taljevine koja se nalazila u kupoli kako bi se postigle preciznije temperature. Također se koristi za održavanje taljevine u tekućem stanju ako je potrebno pričekati bilo kakav zastoј.



*Slika 23.: Peć za taljenje[10]*

Receptor je dio kupole koji zadržava tekućinu koja se topi, u njega se iz kupole izliva rastaljeni metal. Iz receptora se talina prelijeva u spremnike koji se viličarima prevoze do linija za oblikovanje.



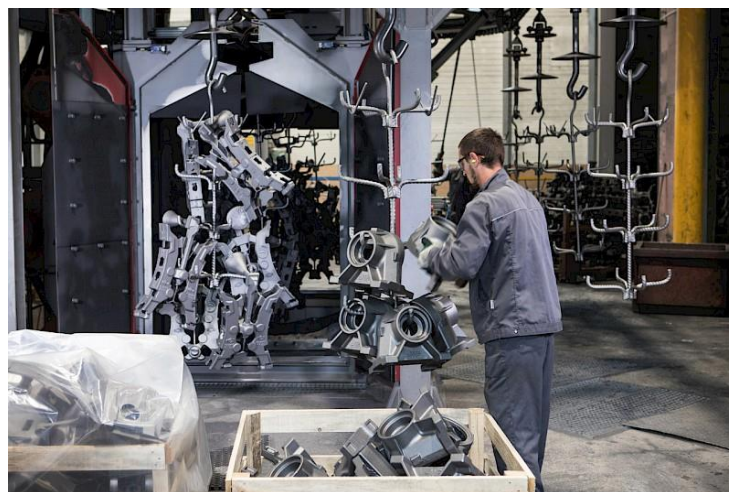
*Slika 24.: Receptor[10]*

#### 4.2.2.2. Pjeskarenje

Procesni dio u kojem se vrše postupci čišćenja odljevala, u tvrtki Livar d.d. naziva se odjel za finalizaciju. Čišćenje se u većini slučajeva vrši strojevima za pjeskarenje koji sami čiste odljevke od nečistoća. Pjeskari se metalnim granulatom, a separacija se vrši rešetom. Kada su odljevci čisti, slijedi brušenje. Bruse se ostaci koji se drže odljevaka, a koji su bili namijenjeni za lijevanje i prozračivanje tijekom ulijevanja taline u kalupe (uljevni sustav), također se brusi srh te ostale nepravilnosti. Odljevci se bruse sa poluautomatskim brusnim strojevima, brusilicama sa diskovima i kutnim brusilicama.

Pjeskarenje je čišćenje prljave površine. To je najbolja metoda za uklanjanje raznih premaza boje i lakova, uklanjanje korozije, čišćenje i očvršćivanje površina te postizanje različitih dekorativnih učinaka na raznim metalima, plastici, drvu ili staklu. Pjeskarenje se najčešće koristi u metalnoj industriji, proizvodnji alata i u održavanju tehnoloških procesa u svim granama industrije. To je tehnološki postupak u kojem pijesak udara na površinu predmeta pod visokim pritiskom.

Najčešće se upotrebljava pijesak, koji može biti kameni ili keramički, također se mogu upotrebljavati drugi materijali kao što su na primjer bakrene troske, čelične kuglice ili sode. Idealan je postupak za uklanjanje starih premaza s površina.



Slika 25.: Stroj za pjeskarenje[10]

Postoji nekoliko vrsta pjeskarenja:

**Injektorsko pjeskarenje** je postupak pri kojem se stvara podtlak u pjeskalnoj mlaznici, te tako uvlači tvar u pištolj za pjeskarenje. Koristi se za male predmete, staklene kuglice, plastični granulat.

**Pjeskarenje pod pritiskom** vrlo je učinkovito i stoga se koristi za obradu masivnih predmeta i korodiranih površina. Također se koristi za otvrdnjavanje površina.

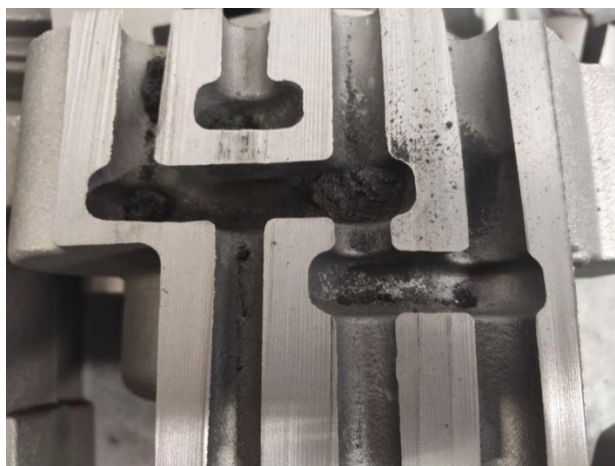
**Turbinsko pjeskarenje** zahtjeva ekstremni tlak koji tvari lansira silovitom brzinom. Dizajniran je za grubu obradu i troši puno električne energije jer ima turbinu.



*Slika 26.: Turbinsko pjeskarenje[10]*

**Pjeskarenje suhim ledom** jedna je od najnovijih tehnika koja se zbog svojih pozitivnih svojstava sve više prepoznaje i koristi. Suhi led je neškodljiv za okoliš i raspada se. Koristi se na vrlo osjetljivim industrijskim strojevima ili drugim osjetljivim površinama jer ima vrlo mali utjecaj na pjeskarenu površinu.

Unutar odljevka DANA 104 postoje rashladni kanali u kojima prije čišćenja ostaje ljevački pijesak, koji se zbog visokih temperatura zapeče u kanalima. Zbog jake prionjivosti pijeska utjecajem visoke temperature u rashladnim kanalima, nije moguće pjeskarenje odljevka samo sa običnom mlaznicom. Tehnolozi su osmislili mlaznicu za pjeskarenje koja je usmjerena podkutom od 90 stupnjeva. Nakon pjeskarenja kanali odljevaka se pregledavaju boreskopom, da bi se odljevci mogli u potpunosti očistiti. Ponekad je potrebno ponoviti postupak pjeskarenja nekoliko puta, te se neke nepravilnosti također mogu popraviti postupkom brušenja. Pjeskarenje je dugotrajan postupak, osobito ako se radi o čišćenju dijelova koji nisu vidljivi golim okom.



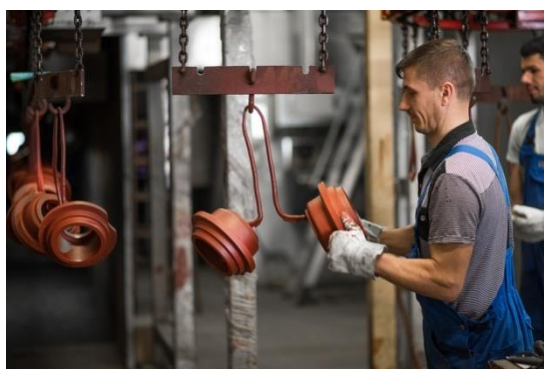
*Slika 27.: DANA 104 zapečeni kanali[10]*



*Slika 28.: Boreskop[10]*

#### **4.2.2.3. Zaštita od korozije bojanjem**

Posebni dio u tvrtki Livar d.d. koji počinje sa svojim procesom nakon brušenja odljevaka je odjel antikorozijske zaštite. U odjelu AKZ odvija se postupak nanošenja premaza, odnosno postupak bojanja uranjanjem odljevaka.



*Slika 29.: Antikorozijska zaštita[10]*

Nakon opisa ostalih postupaka koji su potrebni za izradu proizvoda DANA104, dodatno je opisan postupak AKZ bojanjem.



#### 4.2.2.4. Mehanička obrada

Odjel mehaničke obrade odvojen je od ostalih proizvodnih procesa. Sastoji se od otprilike 30 CNC centara, tokarilica i strojeva za bušenje. Također posjeduje svoje vlastito skladište za alate i vlastite mjerne robote. Proizvodnja može započeti dostavom obojene sirovine (odljevaka). Tehnolozi i programeri prethodno napišu CNC program za odljevak koji će obrađivati, te se definiraju stupnjevi obrade i alati koji će se koristiti za određenu obradu proizvoda. Ovisno o fazama obrade i složenosti proizvoda, također se određuje na kojem će stroju obrada biti izvedena. Kada se sve to učini, operater može krenuti sa podešavanjem alata stroja. Prvo će odrediti koji alati će se koristiti za obradu proizvoda. Obrade se u osnovi dijele na grubu i finu obradu. Alati u stroju se provjeravaju da ne bi došlo do dodirivanja tijekom rada, pogotovo ako se radi o glavi revolvera. Zatim u tehničkom crtežu mora potražiti polazište za alate na temelju kojih je izrađen program. Nakon što je operater pronašao početnu točku, može započeti kalibraciju alata. Svaki alat mora biti kalibriran duž x osi, duž z osi i duž osi y. Nakon što to učini, mora unijeti korekciju i polumjer pločice u sustav kako bi funkcionirao kako treba, zatim može početi prvi probni test programa koji se odvija vrlo pažljivo, te se pozornost usmjerava na događaje u stroju da ne bi došlo do sudara alata i obradka. Kada se obradak uspješno obradi, odvodi se u odjeljak kontrole mjerenja gdje se odvija robotsko mjerenje. Nakon mjerenja saznaje se gdje treba promijeniti koordinate programa da bi obradak bio unutar tolerancija. U skladištu sa mjernim instrumentima pripremljeni su uređaji za mjerenje tako da bi radnik mogao raditi za strojem bez ometanja. Kad se ispune svi uvjeti i proizvod zadovoljava sve tolerancije, može započeti masovna proizvodnja. Sigurnost, čistoća i preciznost na radu su neizbježni.



Slika 30.: Odjel mehaničke obrade[10]

DANA 104 se obrađuje na vertikalnoj CNC tokarilici Daewoo puma v550.

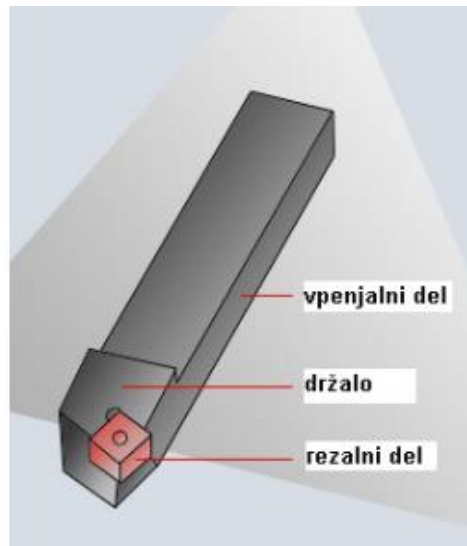


*Slika 31.: CNC tokarilica Daewoo puma v550[10]*

Tokarenje je postupak obrade odvajanjem čestica u kojem obradak izvodi kružno glavno gibanje, a alat izvodi uzdužne pokrete pomicanja. Prilikom tokarenja osiguravamo glavno kružno kretanje između obratka i alata, bez obzira na to tko ga izvodi. Zbog osnovnog kružnog gibanja obratka, obradci izrađeni tokarenjem uglavnom su osno simetrični, a oblik je rezultat rotacije.

Alati za tokarenje sastoje se od tri dijela:

- rezni dio - koristi se za rezanje materijala,
- držač alata - koristi se za pričvršćivanje reznog dijela,
- spojni dio - koristi se za spajanje na držač alata.



Slika 32.: Tokarski nož[10]

### **Vrste alata za tokarenje**

Za tokarenje su razvijeni mnogi alati, to je zbog različitog posla koji se može obaviti tim alatom. Noževi za tokarenje brzoreznog čelika (HSS) sve se više zamjenjuju alatima koji imaju rezni umetak izrađen od karbida. Većina alata za tokarenje posebni su držači koji omogućuju stezanje reznih pločica različitim sustavima stezanja.

### **Tokarski noževi izrađeni od brzoreznih čelika**

Noževi za tokarenje od brzoreznog čelika sastoje se od jednog dijela. Proizvode se razni oblici noževa za tokarenje koji mogu imati ravne ili zakrivljene rezne rubove.

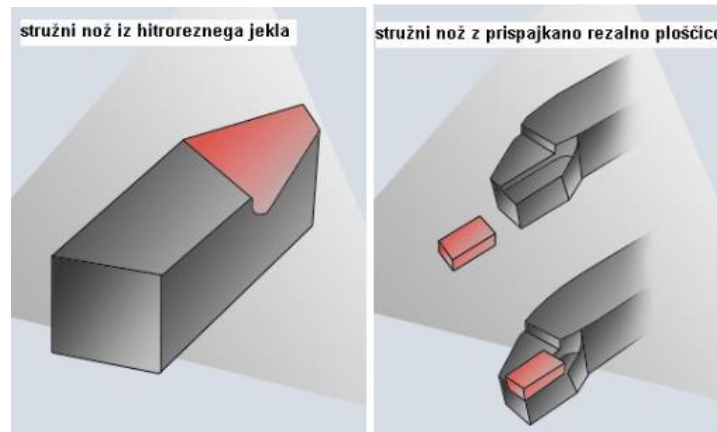
### **Tokareni noževi s lemljenim karbidom**

Tokareni noževi s tvrdim metalom slični su noževima od brzoreznog čelika. Na držač osnove se zalemi umetak za rezanje od tvrdog metala. Ovi noževi za tokarenje definirani su DIN 4982. Noževi za lemljenje s lemljenim karbidom imaju veću otpornost na habanje od konvencionalnih noževa od brzog čelika i u prošlosti su imali veliku važnost u tokarenju.

### **Noževi za tokarenje sa stegnutom pločom za rezanje**

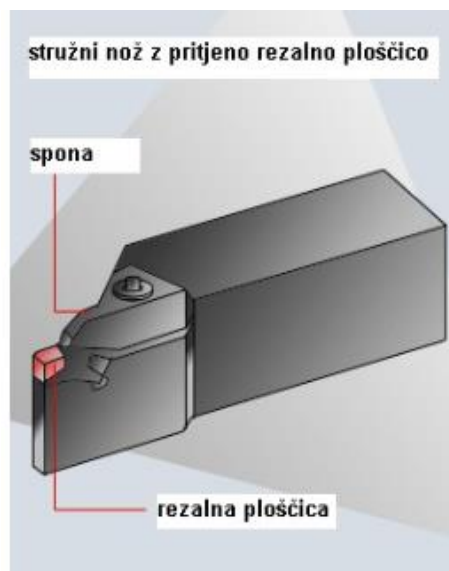
Za rezne uloške od karbida ili keramike koriste se posebni alati i držači za tokarenje. Na držaču postoji poseban sustav za pozicioniranje i učvršćivanje reznog umetka. Sustav obično omogućuje i lako okretanje reznog umetka.

Prema DIN 4984, ručke su podijeljene prema osnovnom obliku rezanja (trokut, kvadrat, romb) kao i prema njihovom geometrijskom rasporedu i onome što ćemo rezati nožem. Prema DIN 4985, postoje i kratki držači alata koji imaju manje dimenzije i tako se stežu u manjem prostoru.



Slika 33.: Nož (HHS)[10]

Slika 34.: Alat sa lemljenom ploščicom[10]



Slika 35: Alat sa pričvršćenim reznim umetkom[10]



*Slika 36.: DANA 104 nakon obrade (gruba i fina obrada, provrti) [10]*

#### 4.2.2.5. Kontrola kvalitete

Kontrola kvalitete koja se zapravo provodi u tvrtki Livar d.d. je mjerenje gotovog proizvoda. Za mjerenja se koristi pomično mjerilo (šubler), za promjere većih površina pripremaju se mjerni satovi čiji su držači prilagođeni odgovarajućoj mjeri. U dogovoru s tehnolozima za kvalitetu određeni se dijelovi odvođe na robotska mjerenja kako bi se otkrile pogreške koje je teško otkriti ručnim mjerenjem.



*Slika 37.: Robot za mjerenje Mitutoyo[10]*

#### 4.2.2.6. Pakiranje

Pakiranje gotovih proizvoda vrši se na temelju zahtjeva kupca. Uglavnom se pakiranje vrši u željezni sanduk čija je unutrašnjost prekrivena plavom folijom. Karton i folija su obvezni između svake razine. Obradena površina mora biti premazana premazom za zaštitu od korozije. U mehaničkoj obradi postoji takozvana „perilica rublja“ čija je namjena pranje i čišćenje gotovih proizvoda. Vremenski uvjeti i vlaga mogu prouzročiti koroziju na obrađenoj površini koja više nije zaštićena premazom. Na samom vrhu proizvodi se prekrivaju kartonom i plavom folijom koja ima oblik vrećice.



*Slika 38.: Linija za pranje gotovih proizvoda u mehaničkoj obradi[10]*

### 4.3. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA U LJEVAONICI

Kada se govori o antikorozijskoj zaštiti u ljevaonici tvrtke Livar d.d. radi se o zaštiti metala prevlakama. Zaštitne prevlake su najraširenije metode zaštite od korozije. Njihova važnost može se vidjeti samom činjenicom da u usporedbi sa cijelom konstrukcijom koju prekrivaju čine jako mali volumen, također čuvaju njezin integritet i neometanu eksploataciju. Očuvanje konstrukcija od korozije u većini slučajeva rješava se odvajanjem osnovnog materijala, koji ima dobra mehanička svojstva, od korozivnog okoliša nanošenjem zaštitnih prevlaka.[3] Zaštitne prevlake koje se nanose u tvrtki Livar d.d. su premazi, odnosno bojanje i lakiranje. Pravilan odabir postupka bojanja ima veliki utjecaj na svojstva zaštite od korozije premazima. Boja (premaz) se može nanijeti sljedećim postupcima:

- Bojanjem četkama,
- Nanošenjem boje lopaticama,
- Bojanjem valjcima,
- Prskanjem boje („štrcanjem“, „naštrcavanjem“),
- Uranjanjem i prelijevanjem,
- Elektroforezom.

Postupak nanošenja boje koji se koristi ovisi o zahtjevnoj brzini nanošenja, veličini predmeta ili konstrukcije, vrsti premaza, dostupnosti ventilacije i o ekološkoj prihvatljivosti.[3]

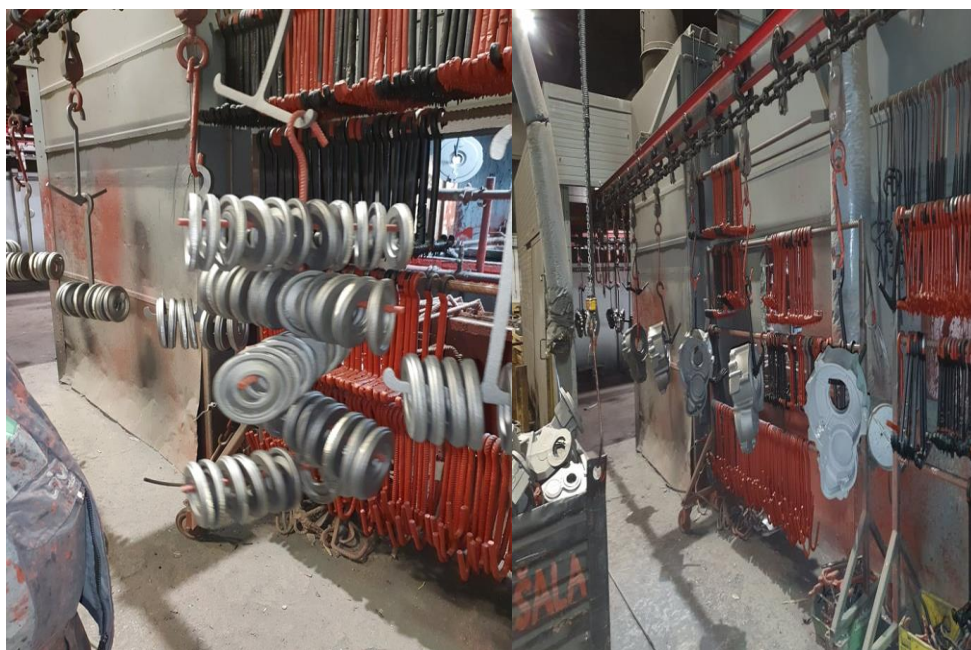
#### 4.3.1. POSTUPAK ZAŠTITE OD KOROZIJE PROIZVODA DANA 104 U TVRTKI LIVAR

Postupak nanošenja premaza koji se provodi u tvrtki Livar d.d. je uranjanje odljevka u temeljnu boju. Prije početka procesa nanošenja premaza, odljevci se iz odjela ljevaonice dovoze u odjel antikorozijske zaštite, gdje se još vrše i postupci pjeskarenja i brušenja. Nakon što su odljevci dobro očišćeni od mogućih ostataka pijeska koji se koristi kod lijevanja, te je izvršena kontrola odljevaka kojom se pregledava da li odljevak ima srh, višak materijala ili manjak materijala, može početi proces nanošenja premaza.



*Slika 39.: Odljevci DANE 104 prije nanošenja premaza[10]*

Odljevci se vješaju na početak pokretne trake koja ima držače. U tvrtki Livaru d.d. ima 380 vrsta držača, te su različitih oblika, a na koji će se držač odljevak vješati ovisi o njihovoj veličini, obliku i težini. S obzirom na veličinu i težinu odljevaka ovisi i da li će se odljevci vješati ručno ili pomoću dizalica.



*Slika 40.: Vješanje odljevaka na držače[10]*

Odljevak prolazi kroz tunel za pregrijavanje, zatim se uranja u boju, te nastavlja put prema peći za sušenje koja je na temperaturi od 40°C do 60 °C. Nakon sušenja u peći odljevci se skidaju sa pokretne trake, te se vrši kontrola.



Kontrolom radnik pregledava da li je negdje ostao zarobljen zrak što se posebno može dogoditi ako se radi o odljevcima koji su kućišta ili je ostalo viška boje na odljevku što se popravlja četkom. Nakon kontrole odljevci se pakiraju u odgovarajuću ambalažu.



*Slika 41.: Uranjanje odljevaka u bazen sa bojom[10]*

Linija postupka antikorozijske zaštite se sastoji od dvije kade, pokretne trake po kojem putuju odljevci, tunela za sušenje, vage kojom se važu komadi prilikom pakiranja, te kompjutera kojim se sprema u bazu sve šta je vagnuto i što je spremno za pakiranje. Printaju se oznake koje se pričvršćuju na svaku nosiljku ili lijepe na željeznu nosiljku kako bi se u svakom trenutku znalo stanje na skladištu i u kojoj nosiljci se nalazi koji proizvod.



*Slika 42.: DANA 104 nakon nanošenja premaza[10]*

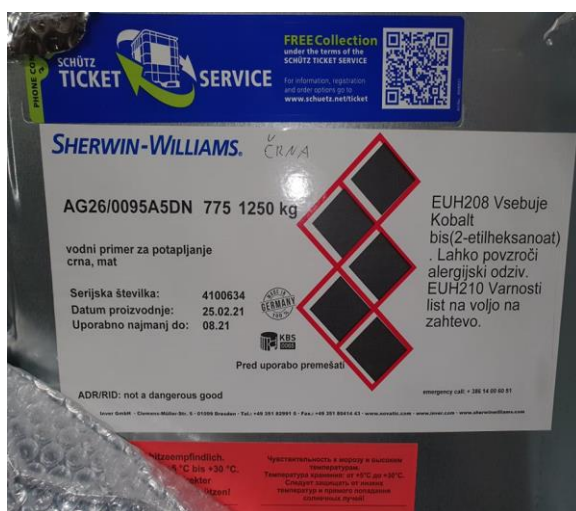
Također postoji mogućnost prodaje proizvoda bez antikorozijske zaštite. Neki kupci sami žele zaštititi proizvod temeljnom bojom, pa se takvi proizvodi posebno pakiraju u vreće za odvlaživanje.



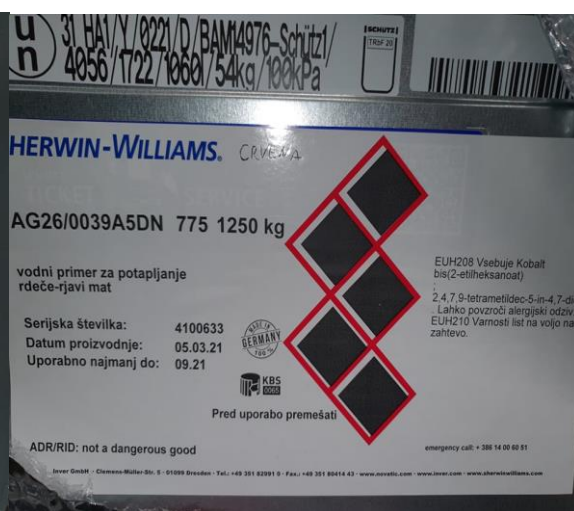
*Slika 43.: Pakiranje proizvoda koji se prodaju bez antikorozijske zaštite[10]*

#### 4.3.2. TEMELJNA BOJA (PREMAZ)

Boje koje se koriste su crna i crvena, 60% odljevaka se boja u crvenu temeljnu boju, a 40% u crnu temeljnu boju. DANA 104 boja se crnom bojom. Temeljna boja je na vodenoj bazi. Na početku svake smjene mjeri se gustoća boje pomoću Fordove čaše čiji je promjer 4mm. Ukoliko je boja prerijetka dodaje se još boje, a ako je previše gusta dodaje se voda. Viskoznost boje mora biti odgovarajuće vrijednosti.



Slika 44: Crvena boja[10]



Slika 45: Crna boja[10]

Antikorozijski odjel radi samo privremenu zaštitu, te ne radi trajnu zaštitu. Postoje svega tri proizvoda na koja se nanosi završna boja, postupak se vrši ručno, pištoljem za bojanje, koristi se boja i učvršćivač na nitro bazi, ali taj postupak se na radi na odjelu antikorozijske zaštite.

#### **4.4. ANALIZA PRAKTIČNOG DIJELA**

U tvrtki Livar d.d. proizvod DANA 104 izrađen je nodularnim lijevom čija je otpornost na koroziju i oksidaciju u usporedbi sa sivim lijevom puno bolja. Veliku ulogu u dobroj antikorozijskoj zaštiti ima priprema, odnosno čišćenje površine proizvoda prije uranjanja u boju, čemu se u tvrtki Livar d.d. posvećuje velika pozornost. Antikorozijska zaštita služi kao privremena zaštita. Štiti proizvod od korozije za vrijeme transporta do mjesta konačne obrade, za vrijeme čuvanja rezervnih dijelova, za vrijeme međuoperacija i tijekom skladištenja. Nakon nanošenja premaza, proizvod DANA 104 se transportira do odjela mehaničke obrade ili do skladišta.

## 5. ZAKLJUČAK

Važnost antikorozijske zaštite je velika. Sve je više industrija koje koriste čelik i željezne ljevove u proizvodnji, a materijala je sve manje, te je to jedan od najvažnijih čimbenika zbog kojih je važna zaštita od korozije. Potrebno je zaštititi materijale od propadanja i produljiti njihovu eksploataciju. Metoda zaštite od korozije koja se danas najviše koristi je zaštita primjenom premaza. Zaštita primjenom premaza vrlo je zahtjevna, a tržište pruža vrlo velike mogućnosti odabira različitih vrsta i sustava premaza. Kod odabira je potrebno voditi računa o namjeni konstrukcije i uvjetima eksploatacije. Međutim, i najpomnijim odabirom najskupljeg i najkvalitetnijeg sustava premaza neće se postići očekivani rezultat zaštite ako se priprema površine ne izvede dovoljno kvalitetno.

Antikorozijska zaštita koja se provodi u tvrtki Livar d.d. za proizvod DANA 104 je privremena. Njena svrha je zaštititi proizvod tijekom skladištenja i transporta sve do konačne mehaničke obrade.

## LITERATURA:

- [1] Kostadin, T.: *Čelici i željezni ljevovi, Materijali II*, Interna skripta, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2017.
- [2] Levanić, T.: *Zaštita konstrukcija od korozije primjenom premaza*; Diplomski rad, Zagreb, 2009.
- [3] Andreić, I.: *Korozija i zaštita od korozije poljoprivredne tehnike*, Diplomski rad, 2017.
- [4] Prof. dr. sc. Juraga, I.; dr.sc. Alar, V.; dipl. ing. Šimunović, V.; dipl. ing. Stojanović, I.: *Korozija i metode zaštite od korozije*; Podloge za predavanje, FSB, Zagreb
- [5] *Zaštita materijala od korozije – FKIT*  
<https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/KIO-EI7.pdf>
- [6] Domić, D.: *Svojstva željeznih ljevova – Repozitorij Veleučilišta u Karlovcu*, Završni rad, Karlovac, 2015.
- [7] *Nodularni (žilavi ljev) - Proizvodno strojarstvo*  
<http://proizvodno-strojarstvo.blogspot.com/2011/07/nodularni-zilavi-lijev.html>
- [8] *Sivi ljev – Omnimerkur*  
<https://omnimerkur.hr/prodajni-program/crna-metalurgija/sivi-lijev/>
- [9] Tehnička enciklopedija: *Ljevarstvo 609*  
<https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/ljevarstvo.pdf>
- [10] Interna dokumentacija tvrtke