

# Otkazi zavarenih konstrukcija u eksploataciji

---

**Lauš, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:299207>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
STUDIJ POLITEHNIKE

**DIPLOMSKI RAD**

**Antonio Lauš**

Rijeka, 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
STUDIJ POLITEHNIKE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Marko Dunder, dipl. ing.

Student:

Antonio Lauš

Rijeka, 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
Studij politehnike  
Rijeka, datum, 8.ožujka 2021.god.

## Zadatak za diplomski rad

Pristupnik: **Antonio Lauš**

Naziv diplomskog rada: **Otkazi zavarenih konstrukcija u eksploataciji**

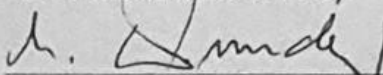
Naziv diplomskog rada na eng. jeziku: The failure of welded constructions in development

Sadržaj zadatka:

1. UVOD. UZROCI OTKAZA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA U EKSPLOATACIJI
2. MEHANIZAM ZAMORA
3. KOROZIJA ZAVARENIH SPOJEVA U EKSPLOATACIJI
4. PRIMJERI OTKAZA ZAVARENIH SPOJEVA U EKSPLOATACIJI
5. MODEL BAZE PODATAKA OTKAZA (HAVARIJA) MOSTOVA - PREVENCIJA
6. ZAKLJUČAK

Mentor: (ime i prezime)

Prof.dr.sc.Marko Dunder

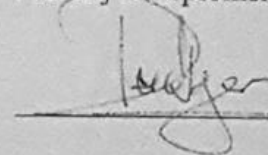


(potpis mentora)

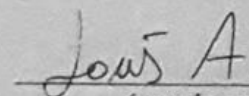
Komentor: (ime i prezime)

---

Voditelj za diplomske radove



Zadatak preuzet: datum



(potpis pristupnika)

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradio samostalno stečenim znanjem na fakultetu Sveučilišta u Rijeci te navedenom stručnom literaturom.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se prvenstveno mentoru prof. dr. sc. Marku Dunđeru na ukazanom povjerenju i pomoći tijekom izrade ovog rada kao i pri izradi prethodnog završnog rada.

Roditeljima, bratu i djevojci se posebno zahvaljujem na strpljenju i razumijevanju te pomoći u svakom trenutku tijekom studija.

---

Antonio Lauš

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	I
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
POPIS KRATICA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. Uvod .....	1
2. Zavarivanje .....	2
2.1. Općenito o zavarivanju.....	2
2.2. Postupci zavarivanja.....	4
2.2.1. Zavarivanje taljenjem.....	5
2.2.2. Zavarivanje pritiskom .....	6
3. Uzroci otkaza zavarenih konstrukcija.....	7
3.1. Pukotine.....	9
3.1.1. Vruće pukotine .....	9
3.1.2. Hladne pukotine .....	10
3.1.3. Pukotine uslijed žarenja.....	12
3.1.4. Lamelarne pukotine.....	13
3.2. Šupljine - poroznost.....	14
3.3. Čvrsti uključci .....	15
3.4. Naljepljivanje i nedovoljan provar .....	15
3.5. Pogreške oblika zavara .....	16
3.6. Ostale pogreške .....	16
4. Mehanizam zamora materijala u eksploataciji .....	17
4.1. Faza I. - iniciranje pukotine.....	17
4.2. Faza II. - rast pukotine.....	18
4.3. Faza III. - lom .....	18
4.4. Uzroci otkaza zavarenih spojeva .....	19
5. Korozija zavarenih spojeva u eksploataciji .....	21
5.1. Opća korozija.....	21
5.2. Galvanska korozija .....	22

5.3. Korozija u procjepu .....	24
5.4. Rupičasta (Pitting) korozija.....	24
5.5. Interkristalna korozija.....	26
5.6. Selektivna korozija .....	27
5.7. Erozijska korozija.....	28
5.8. Napetosna korozija .....	29
6. Primjeri otkaza zavaranih spojeva.....	30
6.1. Nesreće mostova.....	31
7. Prevencija i zaštita zavarenih konstrukcija.....	33
7.1. Inhibitori .....	33
7.2. Zaštita metala prevlakom .....	34
7.2.1. Organske prevlake .....	35
7.2.2. Anorganske prevlake .....	36
7.3. Elektrokemijska metoda prevlačenja.....	36
7.3.1. Anodna zaštita od korozije .....	36
7.3.2. Katodna zaštita od korozije .....	36
8. Metodički dio.....	39
8.1. Područja strukovnog obrazovanja vezana uz temu diplomskog rada.....	39
8.2. Ustroj strukovnog obrazovanja u Republici hrvatskoj .....	39
8.3. Opis programa zanimanja zavarivač.....	43
8.4. Nastavni plan predmeta Tehnologija zavarivanja .....	45
8.5. Priprema za izvođenje nastave za pripadnu razinu kvalifikacije u skladu s HKO sadržajno vezana uz temu rada .....	52
Zaključak.....	60
Literatura .....	61

## POPIS SLIKA

Slika 1.1. Prikaz zavarenog spoja [1] .....	1
Slika 2.1. Priprema za zavarivanje [1] .....	2
Slika 2.2. Osnovni elementi zavarenog spoja [1] .....	3
Slika 2.3. Vrste šavova [1] .....	3
Slika 2.4. Osnovne vrste zavarenih spojeva [1] .....	4
Slika 3.1. Prikaz udjela pogrešaka pri zavarivanju [6] .....	8
Slika 3.2. Shematski prikaz toplih pukotina [4] .....	10
Slika 3.3. Nastajanje hladne pukotine [6] .....	11
Slika 3.4. Shematski prikaz utjecajnih faktora na nastanak hladnih pukotina [6] .....	12
Slika 3.5. Pukotine ispod platiranog sloja [4] .....	13
Slika 3.6. Lamelarne pukotine u zavarenom spoju [4] .....	14
Slika 3.7. Poroznost zavara [7] .....	14
Slika 3.8. Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja [8] .....	15
Slika 3.9. Naljepljivanje u sučeonom spoju [9] .....	16
Slika 4.1. Pukotine u tri faze kod zamora materijala [11] .....	17
Slika 4.2. Shematski prikaz procesa umaranja materijala [5] .....	18
Slika 5.1. Pojava opće korozije .....	21
Slika 5.2 Nastanak galvanske korozije [14] .....	22
Slika 5.3. Korozija u procjepu [15] .....	24
Slika 5.4. shematski prikaz rupičaste korozije [15] .....	25
Slika 5.5. Mogući oblici rupičaste korozije [15] .....	25
Slika 5.6. Shematski prikaz nastanka interkristalne korozije [16] .....	26
Slika 5.7. Primjer interkristalne korozije [16] .....	26
Slika 5.8. Shematski prikaz selektivne korozije [16] .....	27
Slika 5.9. Stvarni prikaz oštećenja selektivnom korozijom [16] .....	27
Slika 5.10. Posljedica erozijske korozije [16] .....	28
Slika 5.11. Erozijska korozija bakrenog cjevovoda [16] .....	28
Slika 5.12. Nastanak napetosne korozije [17] .....	29
Slika 6.1. Urušavanje mosta Hasselt [18] .....	31
Slika 6.2. Pukotina čelične konstrukcije na mostu .....	31
Slika 6.3. Prikaz mosta nakon rušenja [19] .....	32
Slika 6.4. Prikaza oštećenih stupova vijadukta [20] .....	32



Slika 7.1. Inhibicija nehrđajućeg čelika .....	34
Slika 7.2. Katodna zaštita metala[17].....	37
Slika 7.3. Katodna zaštita uz vanjski izvor struje [17].....	37
Slika 7.4. Žrtvene Anode na brodu [5].....	38

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Postupci zavarivanja s obzirom na vrstu [2] .....	5
Tablica 5.1. Metala koji međusobno reagiraju [14] .....	23
Tablica 8.1. Podjela osam odgojno obrazovnih razina [21] .....	39
Tablica 8.2. Nastavni plan i program za smjer zavarivača. [22] .....	44
Tablica 8.3. Nastavni plan za prvi razred [23] .....	46
Tablica 8.4. Nastavni plan za drugi razred [23] .....	50

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Naziv	Mjerna jedinica
$T$	temperatura	°C
$F$	sila	N
N	broj ciklusa naprezanja	1/s

## POPIS KRATICA

<b>KRATICA</b>	<b>OPIS KRATICA</b>
ZUT	Zona utjecaja topline
ISO	Međunarodni standardi
EN	Standardni po europskim normama
REL	Ručno elektrolučno zavarivanje
MIG	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina
MAG	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti aktivnog plina
FCAW	Elektrolučno zavarivanje pod praškom
AC	Izmjenična struja
DC	Istosmjerna struja
ASME	Američko udruženje inženjera strojarstva
EP	Zavarivanje pod praškom
Cr	Kemijski element krom
Ni	Kemijski element nikal
O	Kemijski element kisik
HKO	Hrvatski kvalifikacijski okvir

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisan je proces zavarivanja kao i moguće pogreške koje se javljaju prvotno zbog edukacije i savjesnosti radnika i konstruktora, ali i daljnjom eksploatacijom samih konstrukcija i zavarenih spojeva.

Rad se sastoji od teorijskog dijela koji je podijeljen po poglavljima na način da je opisan tehnološki proces zavarivanja i mogućnosti zavarivanja različitih materijala s različitim postupcima zavarivanja. U daljnjem tekstu ovog rada opisane su pogreške koje se pojavljuju prilikom zamora materijala i zavarenog spoja te moguće nastale pogreške prilikom zavarivanja. U konačnici u radu je opisana korozija zavarenih spojeva i konstrukcija te njihova prevencija i zaštita. Navedene su metode pomoću kojih se sprječavanja nastanka korozije u zavarenom spoju. Cilj rada je potaknuti savjesnost radnika zavarivača prikazom primjera otkaza zavarenih spojeva kao masne konstrukcije.

U metodičkom djelu rada analiziran je nastavni plan i program strukovne škole za zanimanje zavarivača, kao i priprema za izvedbu nastavnog sata.

Ključne riječi: zavarivanje, korozija, otkazi, pukotine, prevencija, eksploatacija

## **SUMMARY**

The failure of welded constructions in development

This thesis describes the welding process as well as possible errors that occur primarily due to the education and conscientiousness of workers and designers, but also the further exploitation of the structures and welded joints.

The paper contains a theoretical part which is divided into chapters in a way that it describes the technological process of welding and the possibility of welding different materials using different welding procedures. Furthermore, the errors that occur during material fatigue, welded joints and possible welding errors are described. Finally, the paper describes the corrosion of welded joints and structures and their prevention and protection. Methods for preventing corrosion in a welded joint are listed. The aim of this paper is to encourage the conscientiousness of welder workers by presenting examples of failure of welded joints as a bridge structure.

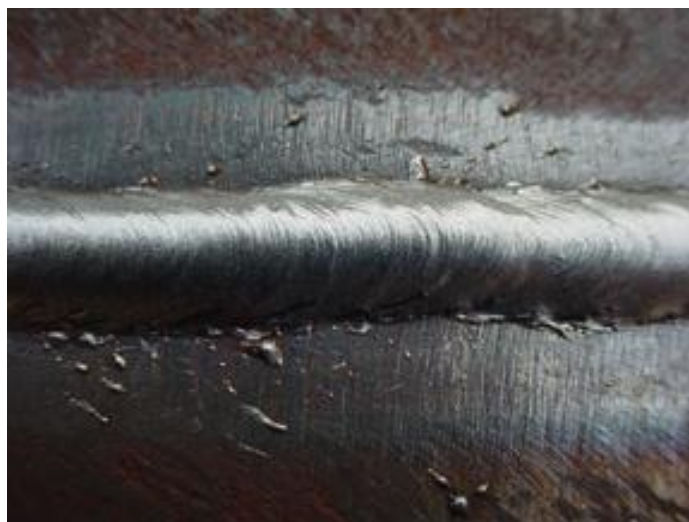
In the methodical part of the paper, the curriculum of the vocational school for the profession of welder is analyzed, as well as the preparation for holding a lecture.

Keywords: welding, corrosion, failures, cracks, prevention, exploitation

## 1. UVOD

Povijest spajanja materijala posebice metala započela je prije nekoliko tisuća godina u željeznom i brončanom dobu. Tada su metale spajali kovači na način da se metal zagrije do užarenog stanja, zatim se ukoliko je potrebno metal posipa prahom ili pijeskom, a čekićanjem spoja bi se istisnuli rastaljeni oksidi i troska. Čvrsti spoj nastaje povezivanjem međuatomskih sila dvaju dijelova. Sličan princip rada zadržao se i danas u tehnologijama spajanjem dva metala, uz poboljšanu kvalitetu, brzinu izrade i izgled zavora.

Zavareni spojevi su čvrsti spojevi dvaju ili više elemenata u konstrukciji, a za njihovo rastavljanje potrebno je prisilno razaranje spoja. Takvi spojevi su dugotrajni i pouzdani, iako njihovom eksploatacijom dolazi do popuštanja, rastezanja, puzanja i korozije. Kako bi se osiguralo korištenje zavarenih konstrukcija potrebno je provesti proračun s kojim se određuje vijek trajanja konstrukcije uz dodatan faktor sigurnosti te redovite kontrole kritičnih točaka. Na slici 1.1. prikazan je sučeoni zavar dvaju ploča. [1]



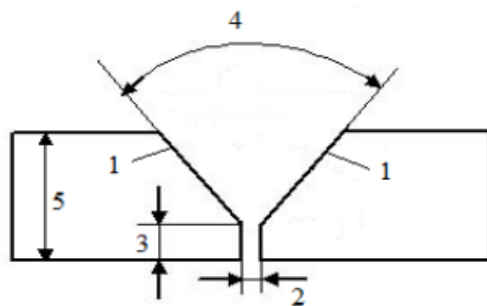
Slika 1.1. Prikaz zavarenog spoja [1]

Iako se tehnologija zavarivanja često smatra jednostavnom operacijom, potrebno je provesti niz procedura kako bi se osigurao siguran zavaren spoj. Prilikom zavarivanja određenih konstrukcija potrebno je očistiti mjesto zavora i odabrati pravilne tehnike za provedbu zavarivanja. Jedini način da se katastrofalne greške izbjegnu jest pravilna edukacija konstruktora i zavarivača jer sve pogreške koje su nastale u zavarenim spojevima zapravo su uzrokovane nedostatkom edukacije ili savjesnosti čovjeka.

## 2. ZAVARIVANJE

### 2.1. Općenito o zavarivanju

Postupak zavarivanja je postupak spajanja dvaju ili više, raznorodnih ili istorodnih materijala postupkom taljenja ili pritiska, sa ili bez dodatnog materijala, na način da se dobije homogen zavareni čvrsti spoj. Zavareni spoj teži tome da bude bez greške te da zadovoljava tražena mehanička i ostala svojstva. Zavarivanjem se spajaju dijelovi koji se nazivaju osnovni materijal te se za njihovo spajanje dodaje dodatni materijal u obliku šipke ili žice. Za kvalitetan zavareni spoj potrebna je dobra priprema osnovnog materijala. Priprema žlijeba za zavarivanje dvaju osnovna materijala prikazani su na slici 2.1.

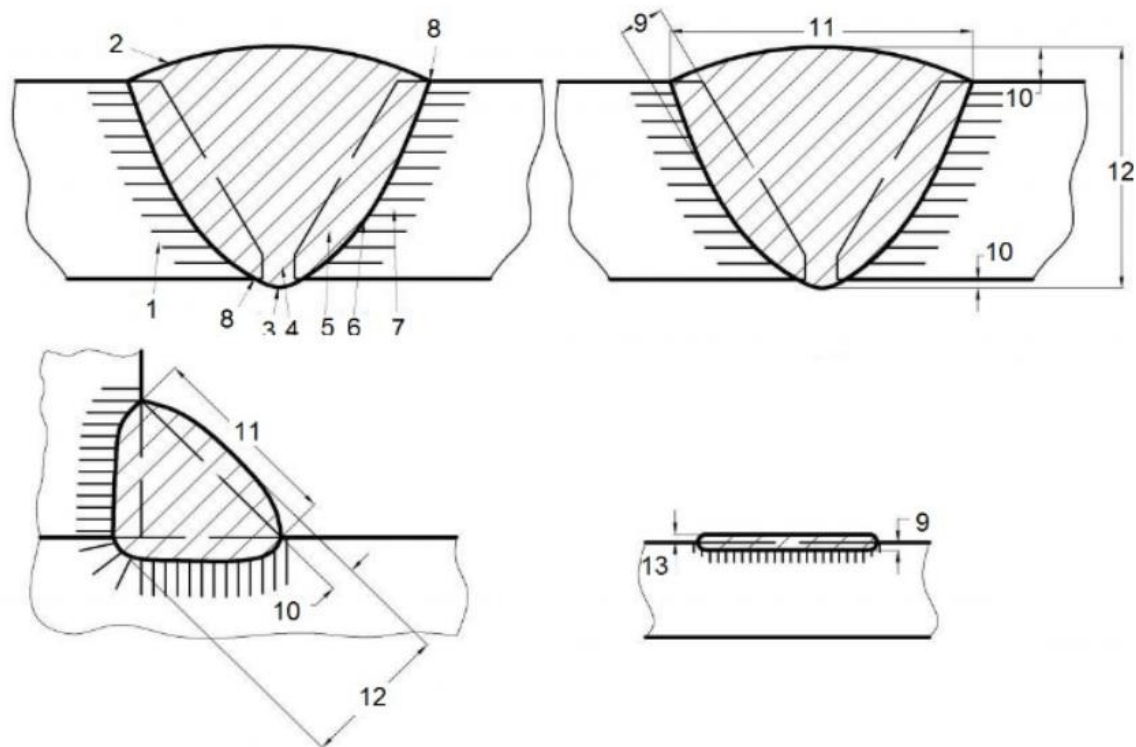


- 1- stranica žlijeba
- 2- razmak u korijenu žlijeba
- 3- zatupljenje korijena žlijeba
- 4- kut otvora žlijeba
- 5- debljina osnovnog materijala

Slika 2.1. Priprema za zavarivanje [1]

Zavarivanjem se mogu spajati kombinacije čelika s ne željeznim ili lakim metalima, razne vrste čelika i legura. Ovisno o tehnologiji moguće je zavarivanje keramike, oksida i stakla s čelikom ovisno o zavarljivosti metala. Zavarljivost je sposobnost metala na zavarivanje o kojem ovisi kemijski sastav, postupak zavarivanja, vrste dodatnog materijala, složenost zavarenog spoja i dr. Zavarivanjem se toplinski utječe na čelik u određenoj zoni. Zagrijavanjem se metal izdužuje, odnosno širi, a hlađenjem skuplja prilikom čega se izazivaju jako nepoželjne posljedice odnosno deformacije. Područje koje je pod utjecajem topline naziva se zona utjecaja topline (ZUT). Na slici 2.2. prikazani su osnovni elementi zavarenog spoja. Na slici vidimo zonu utjecaja topline koja se prilikom zavarivanja nije rastalila, ali su se mehanička svojstva promijenila zbog utjecaja topline.

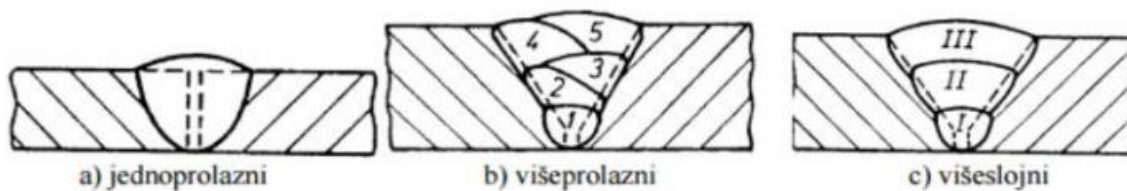




- |  |                        |
|--|------------------------|
| 1- osnovni materijal i dodatni materijal za zavarivanje, | 8- rub zavara (8),     |
| 2- lica zavara,  | 9- dubina uvara,       |
| 3- naličje zavara,                                       | 10- nadvišenje zavara, |
| 4- korijen zavara,                                       | 11- širina zavara,     |
| 5- uvar,   | 12- debljina zavara,   |
| 6- granica uvara,  | 13- debljina navara    |
| 7- zona utjecaja topline (ZUT),                          |                        |

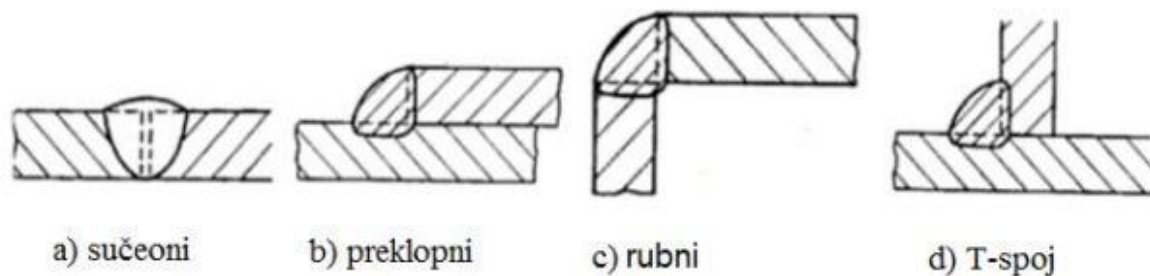
Slika 2.2. Osnovni elementi zavarenog spoja [1]

Zavarivanje dvaju materijala može se razlikovati s obzirom na broj prolazaka koje vidimo na slici 2.3.



Slika 2.3. Vrste šavova [1]

Zavarivanje konstrukcija se izvodi prema normi HRN EN ISO 2553:2014 i kao takvo je standardizirano. Prilikom izrade konstrukcije potrebno je pratiti određene standarde i norme kako bi se osigurao kvalitetan zavareni spoj. Osnovne vrste zavarenih spojeva prikazane su na slici 2.4.



Slika 2.4. Osnovne vrste zavarenih spojeva [1]

Prednosti zavarenih spojeva: [1, 2]

- velika nosivost koja je približno jednaka kao osnovni materijal, a ponekad i veća,
- masa zavarene konstrukcije manja u odnosu na druge nerastavljive spojeve,
- tanke stjenke zavarenih konstrukcija,
- jednostavno oblikovanje konstrukcije,
- nema potrebe za kalupima ili modelima,
- ekonomičnost i
- mogućnost korištenja u maloserijskoj proizvodnji.

Nedostaci zavarenih spojeva: [1, 2]

- mogu se spajati materijali jednakih ili sličnih svojstava,
- pojavljuju se zaostala naprezanja na mjestu spoja,
- potrebna priprema materijala za postupak zavarivanja,
- ručna zavarivanja nisu pogodna za velike serije i
- kvaliteta zavara uvelike ovisi o sposobnostima i iskustvu zavarivača.

## 2.2. Postupci zavarivanja

Postupci zavarivanja razlikuju se ovisno o zahtjevima zavarenog spoja, količini odnosno seriji zavarenih spojeva i vrsti metala koji se zavaruje. Ne postoji univerzalni postupak zavarivanja svih metala. Razlikujemo dvije glavne podjele načina zavarivanja, a to su nam zavarivanje taljenjem i zavarivanje pritiskom. Svi postupci zavarivanja standardizirani su prema normi HRN EN ISO 4063:2012. [2].

Osnovni postupci koji se koriste za zavarivanje prikazani su u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Postupci zavarivanja s obzirom na vrstu [2]

Vrsta metala	Ručno elektrolučno zavarivanje (REL)	Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti plina (MIG/MAG)	Zavarivanje praškom punjenim žicama (FCAW)	Elektrolučno zavarivanje pod praškom (EP)	Zavarivanje netaljivom elektrodom pod zaštitom plina (AC-TIG)	Zavarivanje netaljivom elektrodom pod zaštitom plina (DC-TIG)
Aluminij		*			*	
Legure magnezija					*	
Titan						*
Bakar, mesing	*	*				*
Čelik	*	*	*	*		*
Nehrđajući čelik	*	*	*	*		*
Lijevano željezo	*	*	*			*
Svi metali						

### 2.2.1. Zavarivanje taljenjem

Pri postupcima zavarivanja taljenjem potreban je dovoljno jak izvor topline. Općenito su to uređaji za zavarivanje koji su kompaktnih dimenzija s kojima je moguće zavarivati spojeve za komercijalnu upotrebu pa do vrlo velikih konstrukcija. Postupci zavarivanja taljenjem su najzastupljeniji postupci koji se koriste za zavarivanje dvaju ili više elemenata.

U proces zavarivanja taljenjem svrstavamo: [3]

- ljevačko zavarivanje,
- aluminotermijsko zavarivanje,

- plinsko zavarivanje,
- zavarivanje pod troskom,
- elektrolučno zavarivanje (ručno elektrolučno zavarivanje),
- zavarivanje MIG/MAG postupkom,
- zavarivanje pod praškom,
- zavarivanje TIG postupkom,
- polumehanizirano zavarivanje s obloženim elektrodama,
- zavarivanje plazmom,
- zavarivanje elektronskim snopom i
- zavarivanje laserskim snopom.

### 2.2.2. Zavarivanje pritiskom

Za ostvarivanje zavara pritiskom, potrebne su velike sile tlakova pomoću kojih se na mjestu dodira dva metala stvara trenje i zagrijavanjem nastaje zavaren spoj. Zavarivanje pritiskom ograničava veličinu elemenata koji se zavaruju.

U proces zavarivanja pritiskom svrstavamo: [3]

- plinsko zavarivanje pritiskom,
- elektrootporno zavarivanje,
- zavarivanje električnom indukcijom,
- zavarivanje trenjem,
- hladno zavarivanje,
- zavarivanje ultrazvukom,
- zavarivanje difuzijom i
- aluminotermijsko zavarivanje pritiskom.

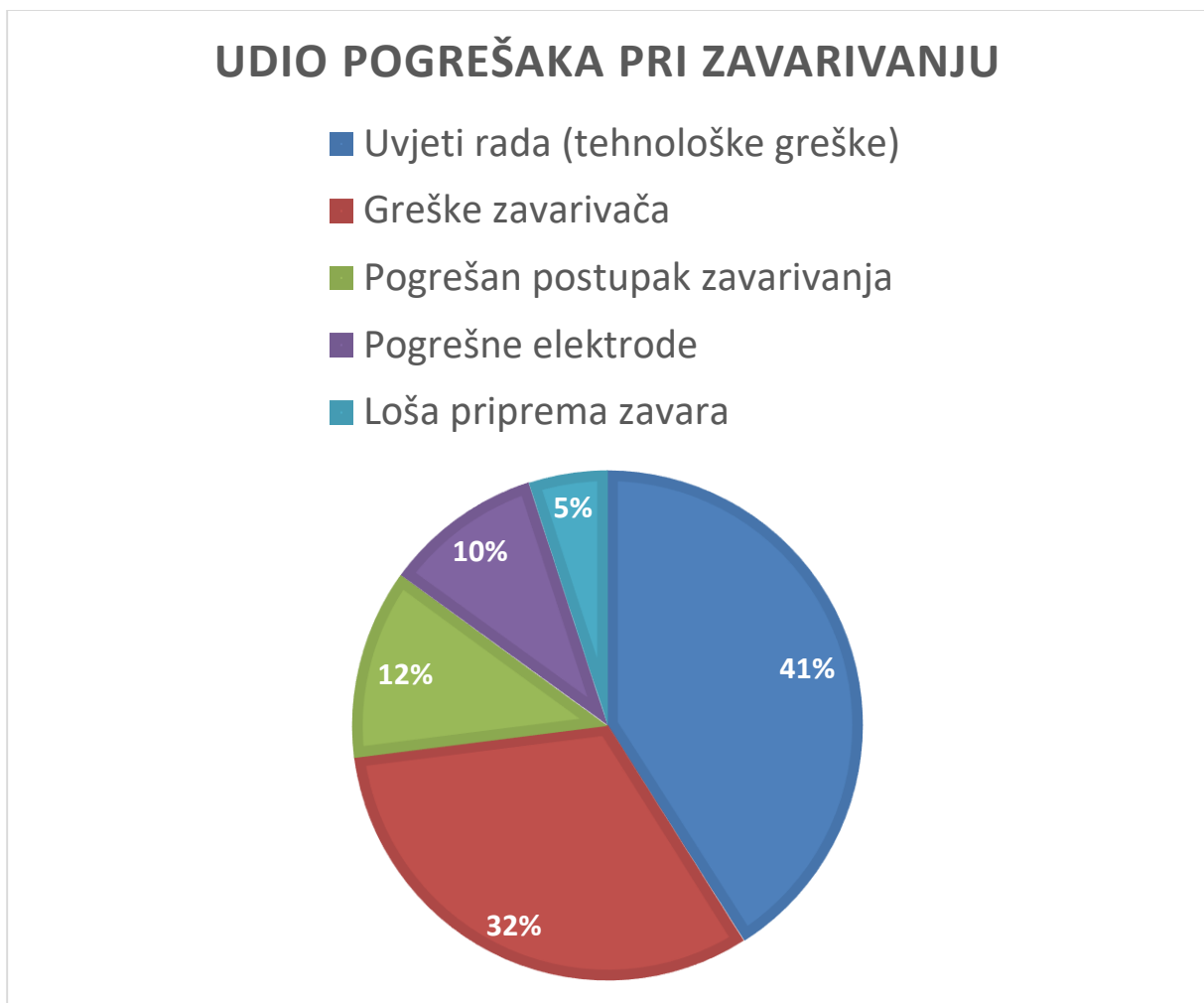
### 3. UZROCI OTKAZA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA

Prilikom proizvodnje određenih proizvoda i korištenjem tehnoloških procesa zavarivanja postoji mogućnost nastanka nedostataka od nečistoća ili grešaka u proizvodu. Velik broj čimbenika ovisi o kvaliteti zavarenog spoja, a posebno treba obratiti pozornost kada se zavareni spojevi koriste za izradu zavarenih konstrukcija, jer se moguće sitne greške tijekom eksploatacije značajno mogu proširiti. Greške koje se pojavljuju u zavarenim spojevima prilikom izrade dijele se na više podjela: [4]

- 1) S obzirom na uzrok nastajanja greške:
  - a. greške na konstrukciji,
  - b. tehnološke greške i
  - c. metalurške greške.
- 2) S obzirom na vrstu greške u zavarenom spoju mogu se nalaziti:
  - a. plinski uključci (najčešće vodik),
  - b. uključci u čvrstom stanju (nečistoće),
  - c. naljepljivanje,
  - d. nedostatak provara,
  - e. pukotine i
  - f. greške oblika i dimenzija.
- 3) S obzirom na mjesto gdje se greška nalazi u zavarenom spoju:
  - a. unutarnje greške (nisu vidljive po površini zavara),
  - b. površinske i pod površinske greške i
  - c. greške po cijelom presjeku zavarenog spoja.
- 4) Po obliku greške u zavarenom spoju:
  - a. kompaktne greške,
  - b. izdužene greške,
  - c. oštre greške (izrazito je izraženo zarezno djelovanje),
  - d. zaobljene greške (manje je izraženo zarezno djelovanje),
  - e. ravninske greške (greška kod koje se zanemaruje treća dimenzija greške) i
  - f. prostorne greške (greška se promatra u sve tri dimenzije).
- 5) Po veličini greške:
  - a. male greške,
  - b. greške srednje veličine i

- c. velike greške.
- 6) Po brojnosti grešaka:
  - a. pojedinačne greške,
  - b. učestale greške i
  - c. gnijezdo grešaka (lokalizirane)

Udio grešaka u zavarivanju prikazan je na slici 3.1. Istraživanje je provelo Američko udruženje inženjera strojarstva (ASME).



Slika 3.1. Prikaz udjela pogrešaka pri zavarivanju [6]

Iz grafa se može iščitati kako se najveći dio grešaka događa upravo zbog tehnoloških grešaka i grešaka zavarivača koja najviše ovisi o osobi koja direktno izvodi postupak zavarivanja. Stoga je potrebno zavarivače obučiti za kvalitetan rad i omogućiti im kvalitetnu praksu u skladu sa svim potrebnim propisima.

Pogreške u zavarenim spojevima su kategorizirane i kao takve standardizirane prema normi HRN EN ISO 6520-1:2008 na način: [5]

1. Pukotine..... (grupa 100)
2. Šupljine - poroznost ..... (grupa 200)
3. Čvrsti uključci ..... (grupa 300)
4. Naljepljivanje i nedovoljan provar ..... (grupa 400)
5. Pogreške oblika zavara ..... (grupa 500)
6. Ostale pogreške ..... (grupa 600)

### *3.1. Pukotine*

Pukotine koje su nastale nakon zavarivanja svrstavaju se u više podjela s obzirom na temperaturno područje u kojem su one nastale: [4]

- 1) Vruće pukotine - nazivaju se još i tople pukotine koje nastaju prilikom kristalizacije metala na visokim temperaturama od 800 do 900°C.
- 2) Hladne pukotine - pukotine koje su najčešće nastale zbog inducirano g vodika unutar zavara. Nazivaju se još i zakašnjele pukotine jer obično nastaju poslije zavarivanja na temperaturama ispod 200°C.
- 3) Pukotine uslijed žarenja – pukotine su koje nastaju na zavarenom spoju, a uzorkovane su toplinskom obradom žarenja.
- 4) Lamelarne pukotine – pukotine koje se induciraju pri višim temperaturama, ali se mogu širiti na hladno područje te imaju specifičnu lamelarnu strukturu.

Nastale pukotine koje se pojave nakon zavarivanja često ne budu greške jednog tipa, već se na primjer mogu pojaviti kao vruća pukotina i širiti kao hladna pukotina inducirana vodikom.

#### *3.1.1. Vruće pukotine*

Pukotine su koje nastaju pri hlađenju zavarenog spoja, odnosno prilikom kristalizacije strukture na približnoj temperaturi od oko 900°C ovisno o materijalu. Tople pukotine nastaju zbog brže kristalizacije prisutnih granula nečistoće u zavarenom spoju od brzine kristalizacije osnovnog materijala ili zavara. Nastaju najčešće u zoni utjecaja topline (ZUT), ali su prisutne i u zoni taljenja zavarenog spoja. Nastala topla pukotina ima tamniju boju površine u odnosu na površinu hladne pukotine zbog lakše oksidacije površine pri većoj temperaturi.

Postoje dva osnovna tipa toplih pukotina:

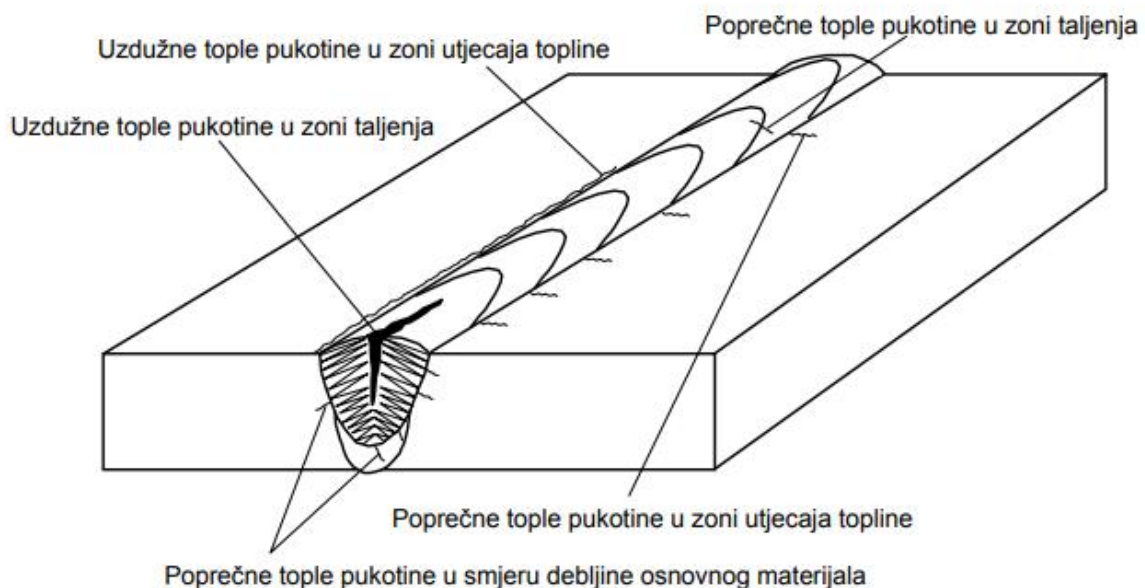
- 1) kristalizacijske pukotine i

2) podsolidusne ili likvacijske pukotine.

**Kristalizacijske pukotine** nastaju zbog prisutnih nečistoća koje ostaju zarobljene između kristala i dendrita u zoni taljenja prilikom hlađenju dodatnog materijala zavora u žlijebu zavora. Kristalizacijom se zavar skuplja, a uslijed zaostalih naprezanja zbog povećanog broja nečistoća u zavaru nastaju pukotine na tom mjestu zavora. [4]

**Podsolidusne pukotine** nastaju zbog prisutnih nečistoća koje se raspodjele po granicama zrna osnovnog materijala ili dodatnog materijala zavora u zoni utjecaja topline (ZUT) prilikom čega nastaje i nehomogenost materijala. S obzirom na os zavora, pukotine se mogu pojaviti poprečno ili okomito. Hlađenjem spoja i prilikom djelovanja zaostalog naprezanja dolazi do nastajanja podsolidusnih pukotina zato što nije došlo do taljenja osnovnog materijala već je materijal samo omekšao.

Kristalizacijske i podsolidusne pukotine prikazane su na slici 3.2.



Slika 3.2. Shematski prikaz toplih pukotina [4]

### 3.1.2. Hladne pukotine

Glavni uzročnik hladnih pukotina jest zaostali vodik i zaostala unutarnja naprezanja, a nastaju prilikom hlađenja zavarenog spoja na temperaturama ispod 200°C. Hladne pukotine kod čelika koji su skloni zakaljivanju mogu nastati nakon nekoliko dana od zavarivanja. Zbog nastanka mogućih hladnih pukotina, kontrola kvalitete zavarenog spoja provodi se barem 48 sati od



zavarivanja. Orijentacija hladnih pukotina može biti u svim smjerovima, a nastaju u zoni taljenja i u zoni utjecaja topline (ZUT).

Hladne pukotine nastaju zbog: [4]

- a. sklonost materijala prema zakaljivanju,
- b. postojanje zaostalih napetosti i
- c. količine difuzijskog vodika.

Hladne pukotine nastaju zbog navedena tri uzročnika, a veličina i vjerojatnost nastajanja pukotine je veća što je veći utjecaj uzročnika.

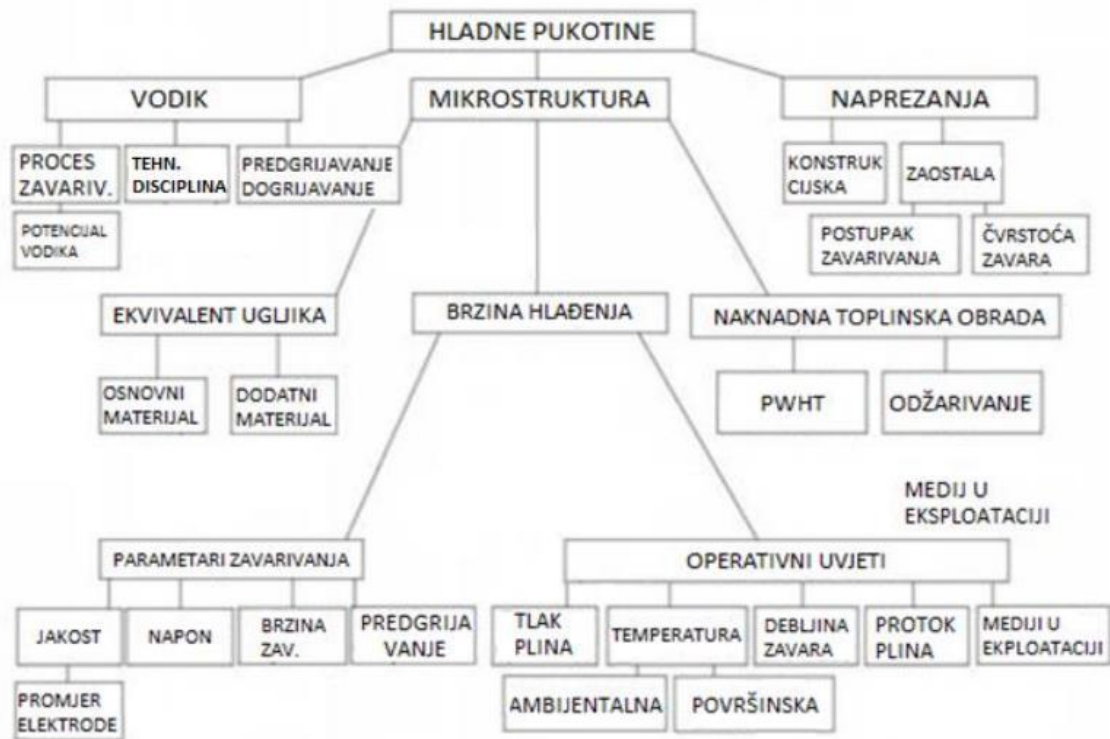
Hladne pukotine imaju svijetlu površinu pukotine jer su nastale pri niskim temperaturama za razliku od toplih pukotina koje imaju tamnu površinu jer su nastale pri visokim temperaturama koje pospješuju oksidaciju površine. Hladne pukotine koje nastaju i nakon tjedan dana od zavarivanja najčešće su predvođene stanjima naprezanja u dvije ili tri osi. Hladnu pukotinu uzrokuje vodik koji u njima difundira, a koncentracijom vodika smanjuju se unutarnje kohezijske sile te povećavaju sile unutarnjeg naprezanja koje stvaraju hladnu pukotinu.

Na slici 3.3. prikazan je presjek zavarenog spoja s novo nastalom hladnom pukotinom u zoni taljenja.



Slika 3.3. Nastajanje hladne pukotine [6]

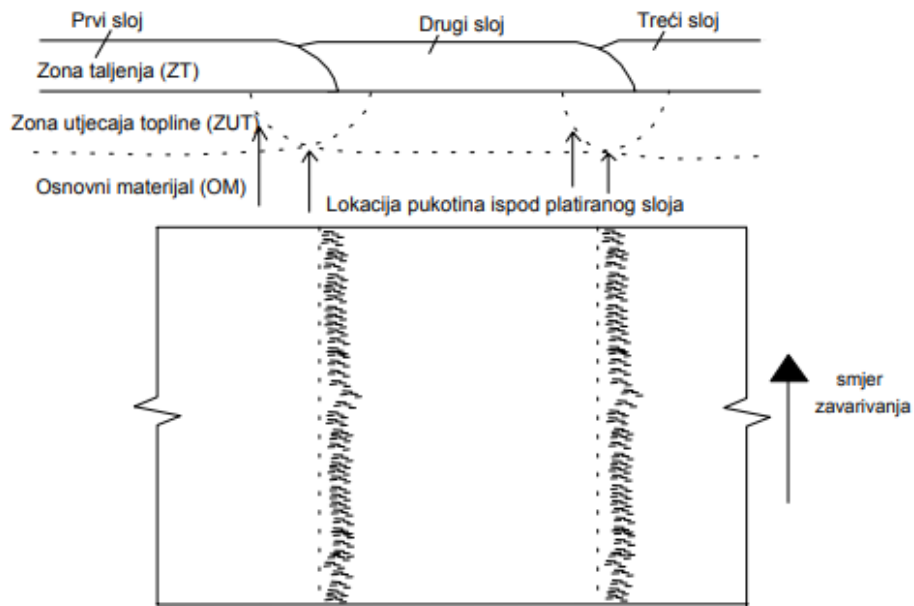
Hladne pukotine su najteži oblik pukotina u zavarenim spojevima jer se mogu pojaviti i nakon nekoliko tjedana od zavarivanja za određene čelike. Nastanak hladnih pukotina prikazan je shematski na slici 3.4.



Slika 3.4. Shematski prikaz utjecajnih faktora na nastanak hladnih pukotina [6]

### 3.1.3. Pukotine uslijed žarenja

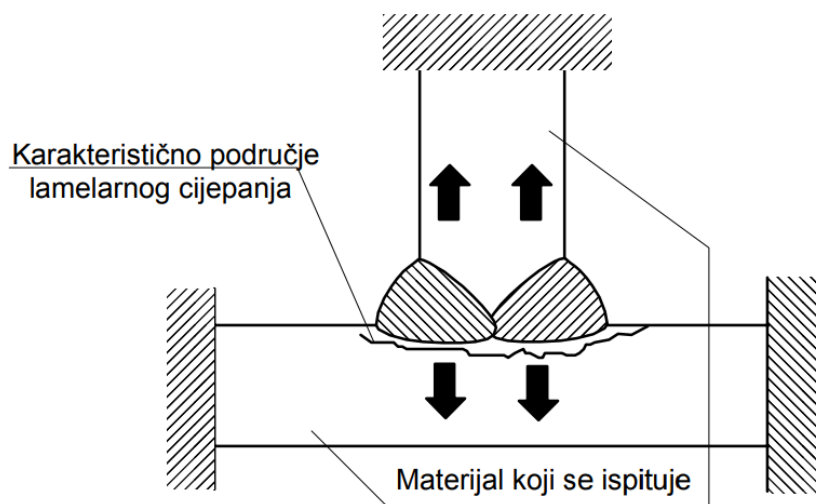
Pukotine koje se uslijed žarenja pojavljuju zbog naknadnog zagrijavanja materijala do niskog temperaturnog područja ili nakon naknadne obrade zavarenog spoja kojim se dovodi toplina. Pukotine najčešće nastaju prilikom velike razlike u zagrijavanju površine od unutarnjeg dijela zavarenog spoja ili zbog prevelike brzine hlađenja zavarenog spoja. Pukotine ovakvog oblika najčešće se pojavljuju kod čeličnih konstrukcija koje su platirane navarivanjem EP postupkom. Na slici 3.5. shematski je prikazan način nastanka pukotina ispod platiranog sloja. Platiranjem drugog sloja na zavarenom spoju stvara se negativan efekt uslijed pregrijavanja u zoni utjecaja topline (ZUT) prvog navarenog spoja zbog čega se narušavaju mehanička svojstva i pojavljuju pukotine. Dvoslojnim platiranjem smanjuje se mogućnost pojava pukotina i poboljšava struktura. [4]



Slika 3.5. Pukotine ispod platiranog sloja [4]

#### 3.1.4. Lamelarne pukotine

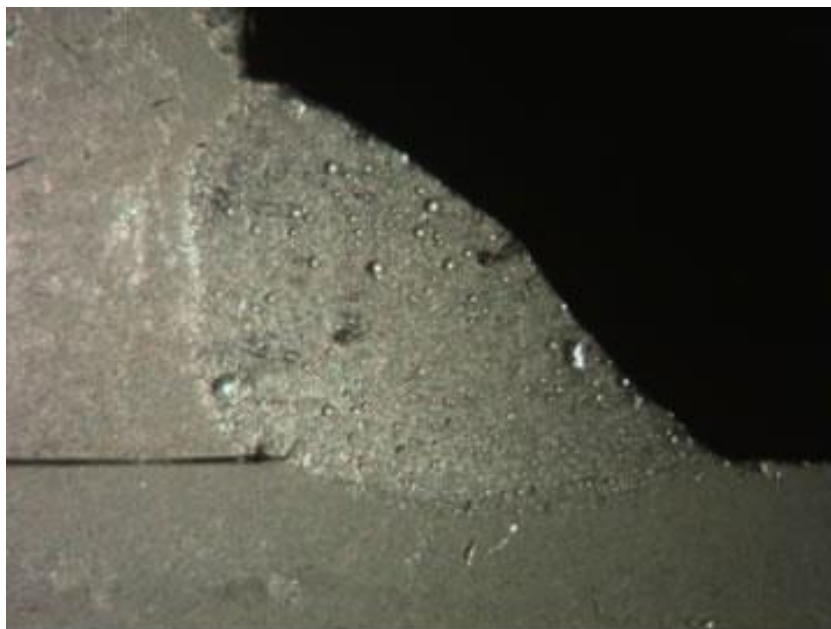
Lamelarne pukotine su pukotine koje se iz zavarenog spoja šire u osnovni materijal. Nastaju u zavarenom spoju kao lamele koje se odvajaju samo na zavaru, a zatim se šire na osnovni materijal. Lamelarne pukotine nastaju u zoni utjecaja topline (ZUT), a za posljedicu stvaraju nehomogenost i naprezanja u osnovnom materijalu. Nehomogenost kod limova nastaje prilikom izrade, valjanjem materijala i proizvodnjom lima, a koje se zbog toplinskog djelovanja zagrijavanjem (širenja) i hlađenjem (skupljanja) zavarenog spoja nastaje lamelarno trganje u slojevima. Pukotine lamelnog tipa najčešće se javljaju kod polu smirenih i ne smirenih čelika. Ukoliko se pojavi potreba za zavarivanjem ovakvog materijala moguće je smanjiti lamelarno odvajanje uz odgovarajuću tehnologiju zavarivanja, kontrole i osiguranje kvalitete. Slika 3.6. prikazuje karakteristične lamelarne pukotine.



Slika 3.6. Lamelarne pukotine u zavarenom spoju [4]

### 3.2. Šupljine - poroznost

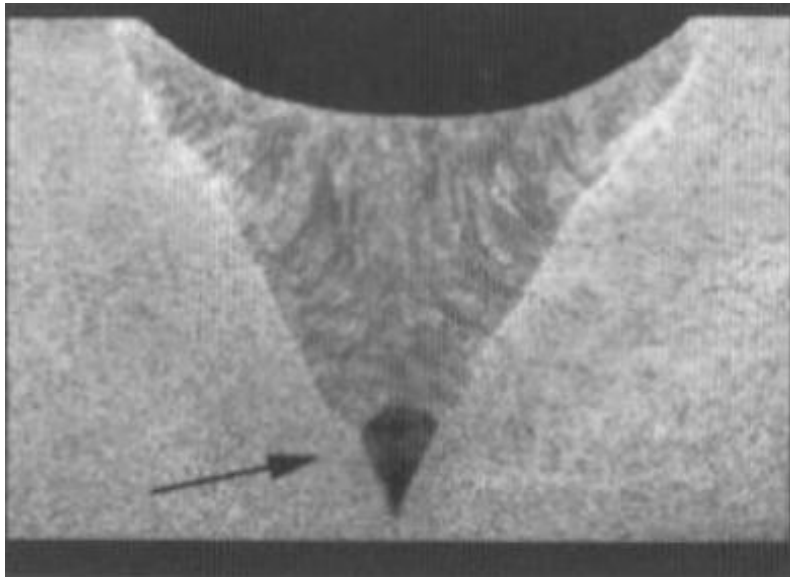
Šupljine koje se još nazivaju i poroznost uzrokovane su zarobljenim česticama plina (najčešće vodika i kisika) unutar zavora. Šupljine u zavoru nastaju prilikom hlađenja zavora gdje čestice plina (najčešće vodika) pokušavaju izaći iz tekućeg zavora, ali je brzina kristalizacije zavora veća od brzine isparavanja plinova. Plinovi koji su ostali u metalu zavora nastaju zbog nečistoća, vlage ili su ostali iz okolne atmosfere, a uzrokuju poroznost i koroziju metala u obliku mjehurića i rupica. Na slici 3.7 prikazan je presjek zavora koji je porozan.



Slika 3.7. Poroznost zavora [7]

### 3.3. Čvrsti uključci

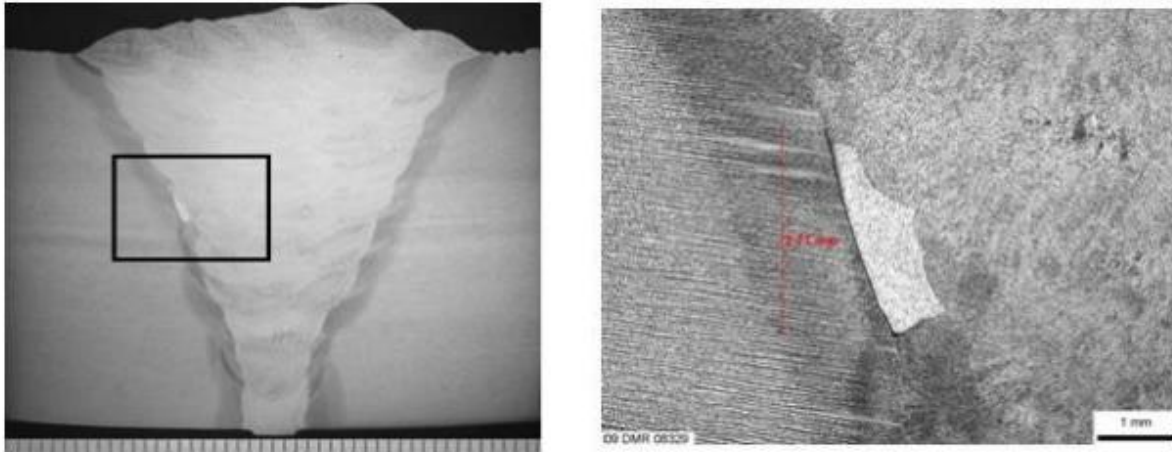
Čvrstim uključcima smatraju se zaostala strana tijela u metalu zavara, mogu biti nemetali, kao što je troska iz elektrode ili prašak od zavarivanja pod praškom. Čvrsti uključci mogu biti i različiti metali koji nisu otopljeni ili su zaostali zbog nečistoća, te mogu biti spojevi metala i njihovi oksidi. Čvrsti uključci najčešće nastaju zbog nemarnosti zavarivača odnosno zbog nečistoća žlijeba zavara od zaostalog metala nakon brušenja, nedovoljnog čišćenja troske, premale brzine zavarivanja ili nepravilne tehnike zavarivanja. Smanjenje nastanka čvrstih uključaka postiže se prethodnim brušenjem žlijeba zavara i brušenjem sloja zavara prije svakog slijedećeg prolaska zavarivanja. Uključak troske ispod zavara prikazan je na slici 3.8. nakon MAG postupka zavarivanja.[8]



Slika 3.8. Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja [8]

### 3.4. Naljepljivanje i nedovoljan provar

Naljepljivanje nastaje zbog nedovoljne temperature dodatnog materijala prilikom čega taljevina naliježe na hladnu površinu u žlijebu zavara koji se ne povezuje sa osnovnim materijalom i na tom mjestu ne nastaje čvrsta struktura. Klasičnim metodama kontrole pogrešku je teško pronaći i zbog toga je ova pogreška još nepovoljnija. Na slici 3.9. shematski je prikazano naljepljivanje u sučeonom spoju.



Slika 3.9. Naljepljivanje u sučeonom spoju [9]

Nedovoljan provar i nedovoljno protaljivanje pogodni su za stvaranje naljepljivanja u zavarenom spoju, a obično ih karakterizira i nedovoljno provarivanje korijena zavara. Postojanost ovih grešaka je česta korištenjem MAG postupka zavarivanja, a javljaju se zbog prevelikog promjera elektrode, premale jakosti struje, prevelike brzine zavarivanja, loše pripreme spoja, nepravilne tehnike radnika ili preoštrg kuta spoja.

### 3.5. Pogreške oblika zavara

Pogrešan oblik zavara prilikom izrade nacrtu za čeličnu konstrukciju smanjuje nosivost zavarenog spoja i konstrukcije. Oblik zavara ovisi i o estetskom izgledu proizvoda, ali ponajviše je značajan kod opterećenih konstrukcija. Svako odstupanje od zadanog oblika zavara ubraja se u ove pogreške, a one su dobro vidljive i mjerljive vizualnim pregledom bez korištenja instrumenata ili metoda za kontrolu.

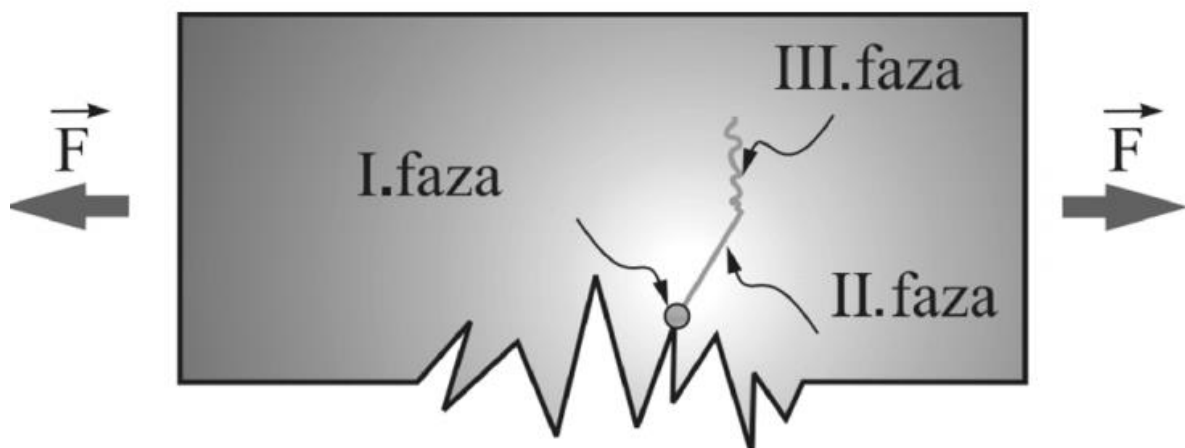
### 3.6. Ostale pogreške

Sve ostale pogreške kod postupka zavarivanja koje se ne mogu svrstati u prethodno navedene svrstavaju se u ovu skupinu. Uglavnom su to oštećenja površine materijala pri zavarivanju ili prilikom pripreme za zavarivanje i oštećenja osnovnog materijala prilikom uspostavljanja električnog luka na površini materijala, tako zvano „pikanje“.

## 4. MEHANIZAM ZAMORA MATERIJALA U EKSPLOATACIJI

Zamor materijala uzrokuje lom konstrukcije koji je uzrokovan pukotinama pri dinamičkom naprezanju. Obično su dinamička naprezanja manja od čvrstoće materijala koje se vrlo često pojavljuju na mosnim konstrukcijama i brodovima u kojima se javljaju manja dinamička naprezanja kao što su valovi ili prelazak automobila preko mosta. Pukotine se pojavljuju na mjestima visoke koncentracije zaostalih naprezanja koje nastaju nakon postupka zavarivanja [3].

Znanost o materijalima pokazala je kako su na konstrukcijama redovito prisutni mikroskopski defekti nastali nesavršenim procesom izrade, a kao takvi su za konstrukciju bezopasni. Zamor materijala predstavlja rast nepravilnosti i širenje pukotine do puknuća konstrukcije. Proces oštećenja od zamora dijeli se u tri skupine ili faze [3]. Na slici 4.1. prikazane su tri faze nastanka pukotine u materijalu.



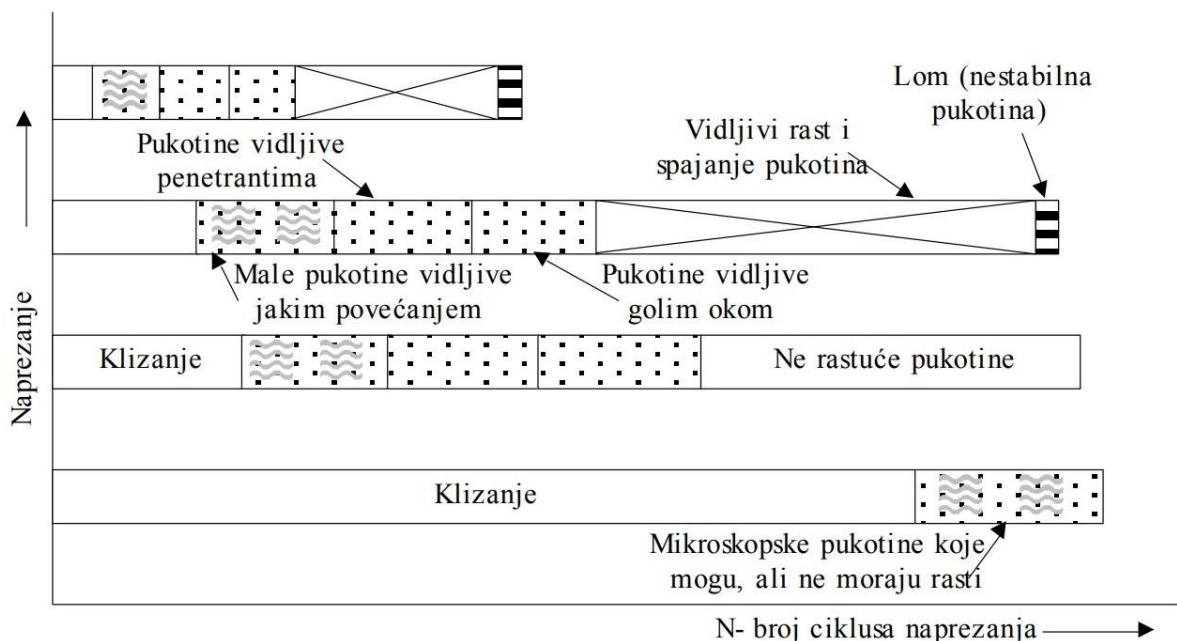
Slika 4.1. Pukotine u tri faze kod zamora materijala [11]

### 4.1. Faza I. - iniciranje pukotine

Prva faza nastanka pukotine, naziva se još i začetak pukotina, jer u toj fazi pod utjecajem naprezanja i starenja odnosno umora materijala nastaju pukotine. Pod pukotinom se podrazumijeva odsutnost veza između dvaju susjedna atoma u materijalu, a jakost atomskih sila određuje čvrstoću materijala. Utjecaj stanja površine na zamor raste sa čvrstoćom materijala odnosno vlačnom čvrstoćom. [2] Pukotine se prvotno formiraju na površini zbog utjecaja okolnog medija stoga je potrebno pravovremeno uočiti iniciranje pukotina da ne dođe do njenog rasta.

#### 4.2. Faza II. - rast pukotine

Rast pukotine ili napredovanje pukotina jest faza u kojoj ne postoji jasna granica između faze začetka pukotine i njenog rasta jer ne postoji definirana granična duljina mikro pukotine. U prvoj fazi pukotina se inicira duž ravnine dok u drugoj fazi dolazi do promjene smjera rasta pukotine, što ovisi o količini vlačnog naprezanja. Rast pukotine ovisi o ciklusima naprezanja, tako kod velikih koncentracija naprezanja, a malim rasponima naprezanjima možemo razlikovati pukotine koje prestaju rasti zbog promjene polja naprezanja u vrhu pukotine. Na slici 4.2. je prikazan ciklus naprezanja u odnosu na jačinu naprezanja te odnos materijala na iniciranje i rast pukotine do loma materijala.



Slika 4.2. Shematski prikaz procesa umaranja materijala [5]

#### 4.3. Faza III. - lom

Faza u kojoj dolazi do naglog širenja pukotine, smanjenja poprečnog presjeka materijala i nestabilnog loma konstrukcije. Žilavost materijala, temperatura i opterećenje može ovisiti o vrsti loma, tako postoje:

- **krhki lom** kod kojeg lom nastaje u trenutku kad je postignuta kritična duljina pukotine,
- **žilavi lom** kod kojeg je prisutna snažna plastična deformacija u svim koracima loma
- **plastično popuštanje**



#### *4.4. Uzroci otkaza zavarenih spojeva*

**Lom zbog umaranja** nastaje zbog čestog dugotrajnog dinamičkog naprezanja. Naprezanja mogu biti dinamičke sile (npr. prelasci vozila preko mosta, udari vjetra i sl.), dinamičke promjene temperature (toplo-hladno gdje se materijal neprestano širi i skuplja), kombinacije temperaturnih naprezanja i dinamičkih sila i dr.

**Lom zbog puzanja** nastaje prilikom korištenja konstrukcija na povišenim temperaturama uz određena statička i dugotrajna naprezanja. Obično su to energetska postrojenja u kojima se nalaze povišene temperature uz određena naprezanja. Lom zbog puzanja smatra se najčešćim lomom u eksploataciji konstrukcije i zavarenih spojeva kombiniranim s dinamičkim naprezanjima.

**Prevelike elastične deformacije** su kao deformacije koje nastaju u blizini granice elastičnosti materijala i zavarenog spoja. Što je naprezanje više iznad granice elastičnosti i granice razvlačenja dolazi do povećanja čvrstoće i pada žilavosti materijala (tzv. Baushinger-ov efekt).

**Gubitak stabilnosti** koji je vezan uz rešetkaste konstrukcije gdje dolazi do izvijanja šipke uslijed određenih naprezanja. Izvijanje jedne ili više šipki rešetkaste konstrukcije može dovesti do otkaza cijele konstrukcije.

**Opća korozija** zahvaća cijelu površinu materijala koja može samostalno ili u kombinaciji sa drugim naprezanjima prouzročiti otkaz zavarene konstrukcije. Korozija materijala u određenim uvjetima (morska voda, atmosferski zrak, slatka voda, i dr.) može se obuhvatiti proračunom kojim se određuje pouzdan rad zavarene konstrukcije na temelju brzine obuhvaćanja materijala korozijom.

**Ostali oblici korozije** su kompleksniji mehanizmi nastajanja te češće uzrokuju otkaze zavarenih konstrukcija jer ih nije moguće obuhvatiti proračunom. Pouzdanost zavarenih konstrukcija koje su pogodne za pojavu korozije određuje se laboratorijskim i pogonskim eksploatacijskim istraživanjima.

**Abrazija, erozija i kavitacija** su najčešće povezane s cjevovodima, pumpama, posudama pod tlakom i sl. Abraziju karakteriziraju krute čestice u cjevovodu koje oštećuju unutarnje dijelove cijevi. Eroziiju karakteriziraju atmosferski uvjeti vlage, vjetra, sunca, snijega i sl. zbog kojih dolazi do erozije materijala ili zavara. Kavitaciju karakteriziraju različita turbulentna strujanja u cjevovodima zbog raznih suženja, proširenja, skretanja i sl. Abraziju, eroziiju i kavitaciju nije

moгуće obuhvatiti proračunima već se njihovi rezultati dokazuju eksperimentalno. Obzirom na dobivene rezultate odabiru se pogodni materijali i tehnologija zavarivanja.

**Termički šokovi i termički umor** karakteriziraju dinamička naprezanja zavarene konstrukcije koja su značajno kompleksnija od dinamičkih naprezanja poznatih sila. Pouzdan rad zavarene konstrukcije osigurava se kroz ispravan odabir osnovnih materijala i tehnologije zavarivanja koji moraju zadovoljiti sve zahtjeve pouzdanosti u laboratorijskim ispitivanjima.

**Propuštanje** je najčešće povezano s cjevovodima i posudama pod tlakom. Propuštanje se pojavljuje zbog grešaka u zavarenim spojevima ili oštećenjima koja su nastala u eksploataciji. Propuštanje se može pojaviti zbog agresivnog medija koji zbog pukotina u materijalu ili zavaru može dovesti do korozije.

Šire gledano, svim navedenim uzrocima grešaka u izvještajima kontrole zapravo prethodi ljudska pogreška koja je nastala neznanjem ili ne savjesnošću čovjeka.

## 5. KOROZIJA ZAVARENIH SPOJEVA U EKSPLOATACIJI

Utjecajem topline na materijal prilikom zavarivanja u zoni utjecaja topline (ZUT), hlađenjem metala dolazi do strukturnih transformacija, kod nehrđajućeg čelika i aluminijskih legura dolazi do pojave međukristalne korozije. Kemijska heterogenost i struktura uzrok su pojave korozije u zavarenom spoju. Zavarivanjem konstrukcije te zagrijavanjem i hlađenjem metala javlja se značajno polje naprezanja. Zaostala naprezanja u zavarenom spoju uzrok su promjene dimenzija zavarenog spoja tokom eksploatacije. [4, 12]

### 5.1. Opća korozija

Opću koroziju karakterizira ravnomjerno smanjenje debljine metala te je ujedno i najčešći oblik korozije koji se pojavljuje. Korozija se stvara na mjestima metala gdje dolazi do zamjene anodnih i katodnih atoma. Nastupa tako da obuhvaća cijelu površinu metala kao što je prikazano na slici 5.1. bez značajnog lokaliziranog napada. Brzina i intenzitet korozije metala predstavlja dubinu prodiranja procesa korozije u metal koje može biti svugdje jednako ili koncentrirano na lokalnim mjestima. Intenzitet se može lako izračunati i predvidjeti vijek trajanja konstrukcije te se zbog toga ne smatra znatno opasna za konstrukciju. [13]



Slika 5.1. Pojava opće korozije

Zaštita od opće korozije: [14]

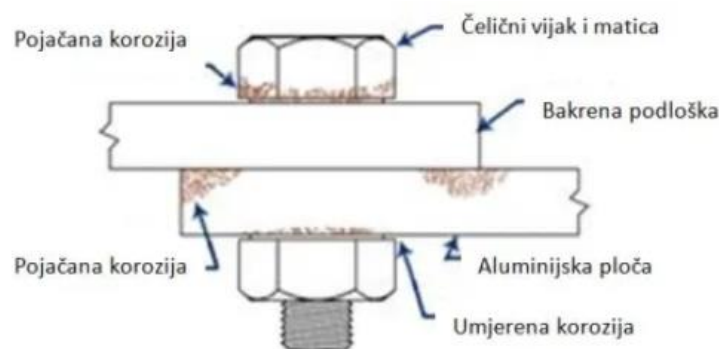
- postavljanjem debljih i kvalitetnijih materijala,

- korištenjem boja, lakova ili metalnih premaza (pozlaćivanje, pocinčavanje ili eloksiranje),
- korištenjem inhibitora ili promjenom okoliša i
- katodna ili anodna zaštita (žrtvenom anodom ili katodom).

## 5.2. Galvanska korozija

Naziva se još kontaktna ili bimetalna korozija koja nastaje kada su dva različita materijala u međusobnom kontaktu uz prisustvo elektrolita i razlike potencijala metala u kontaktima. Za koroziju potrebna je dovoljna razlika potencijala između metala, a što je potencijal veći to je korozija intenzivnija. Manje plemeniti materijal postaje anoda na kojem se brže odvija oksidacija odnosno anodna reakcija. Što je veća površina katodnog metala to će korozija anodnog metala biti intenzivnija.

Galvanska korozija često se pojavljuje kod zavarenih spojeva, unutar kojih se nalazi dodatan materijal u zavaru koji je različit od osnovnog materijala. Shematski prikaz spajanja dvaju ploča prikazan je na slici 5.2, a zbog razlike potencijala nastaje galvanska korozija između njih.



Slika 5.2 Nastanak galvanske korozije [14]

Galvanska korozija se može tumačiti kao kemijske reakcije (oksidacije i redukcije) koje se odvijaju tako da se ubrzava oksidacija anode, a smanjuje oksidacija plemenitijeg metala (katode). Proces oksidacije traje sve dok se katodne i anodne reakcije ne izjednače, odnosno dok se ne postigne dinamička ravnoteža. Stoga se galvanska korozija koristi kao zaštita protiv korozije katode, dodajući u otopinu anodu koja će brže oksidirati zaštititi katodni metal, tzv. katodna zaštita žrtvenom anodom.

Galvansku koroziju se može predvidjeti na način da se pravilno odaberu materijali uvjetima eksploatacije. U tablici 5.1 navedeni su materijali te njihova preporuka kako materijali u međusobnom kontaktu reagiraju.

Tablica 5.1. Metala koji međusobno reagiraju [14]

METAL U KONTAKTU															
RAZMATRANI METAL	Zlato, Platina, Rodij	Krom	Titan	Monel, Inconel, Ni/Mo legure	Austenitni i nehrdajući čelici 18/8 Cr/Ni	Nikl, Srebro	Kupronikl, Legure za tvrdo lemljenje, Aluminijске bronze, Kositrene bronze, Topovska bronca	Nehrdajući čelici s 13% Cr	Bakar, Mjed, Novo srebro	Olovo, Kositar, Legure za meko lemljenje	Čelik, Sivi lijev	Kadmij	Cink	Aluminij i njegove legure	Magnezij i njegove legure (kromatirane)
Zlato, Platina, Rodij	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Krom	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Titan	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Monel, Inconel, Ni/Mo legure	B	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Austenitni nehrdajući čelici 18/8 Cr/Ni	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nikl, Srebro	C	B/C	B/C	B	B/C	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Kupronikl, Legure za tvrdo lemljenje, Aluminijске bronze, Kositrene bronze, Topovska bronca	C	B/C	B/C	B/C	B/C	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A
Nehrdajući čelici s 13% Cr	C	C	C	C	C	B/C	C	-	C	A	A	A	A	A	A
Bakar, Mjed «Novo srebro»	C	B/C	B/C	B/C	B/C	B/C	B/C	A	-	B/C	A	A	A	A	A
Olovo, Kositar, Legure za meko lemljenje	C	B/C	B/C	B/C	B/C	B	B/C	B/C	B/C	-	A/C	A	A	A	A
Čelik, Sivi lijev	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	-	A	A	B	A
Kadmij	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	-	A	B	A
Cink	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	B	-	C	A
Aluminij i njegove legure	D	C	C	C	C	C	D	B/C	D	B/C	B/C	A	A	-	A
Magnezij i njegove legure (kromatirane)	D	C	C	D	C	D	D	C	D	C	D	B/C	B/C	B/C	-

LEGENDA:

A = Korozija nije ubrzana

B = Korozija može biti malo ubrzana s metalom u kontaktu

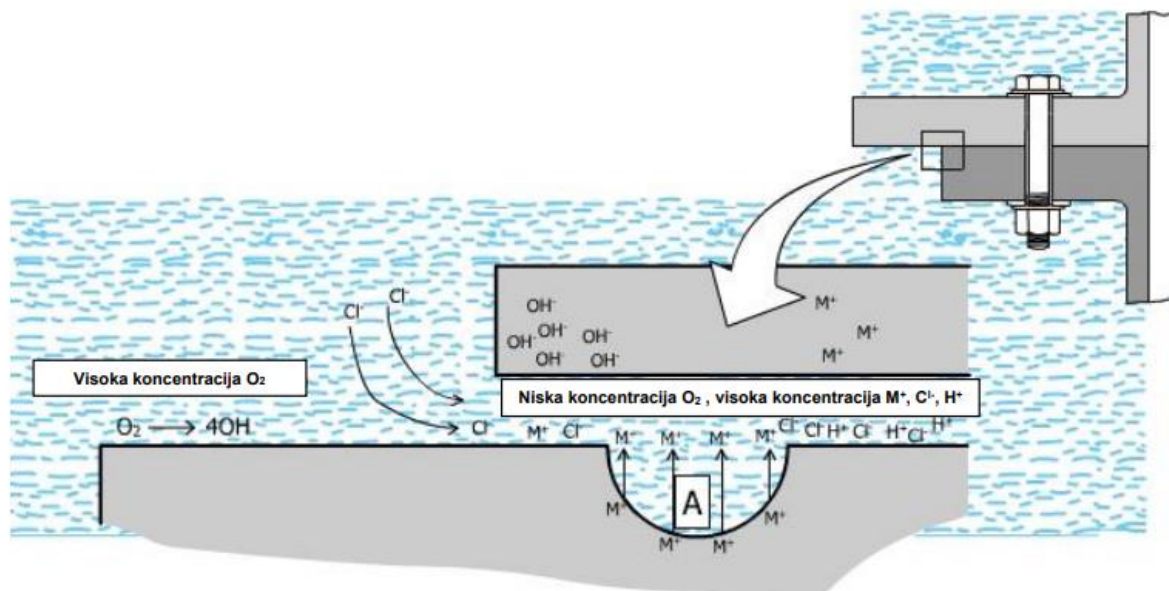
C = Korozija razmatranog metala može biti vidljivo ubrzana s metalom u kontaktu.

D = U prisutnosti vlage ova kombinacija se ne preporučuje, čak ni za blage uvjete bez adekvatnih zaštitnih mjera.

### 5.3. Korozija u procjepu

Korozija u procjepu pojavljuje se u blizini pukotina ili na mjestima između površina zbog zadržavanja korozivnog medija u toj pukotini (tekućina). Ukoliko je konstrukcija uronjena u otopinu nastaje razlika u koncentraciji elektrolita. Kao rezultat elektrokemijske reakcije u unutarnjem dijelu pukotine se povećava kiselost otopine i povećava se koncentracija agresivnih čimbenika. Tako uronjeni procjep u unutarnjem dijelu postaje anodno područje, dok se na vanjskom dijelu odvija katodna reakcija. Korozija u procjepu može biti uzrokovana zadržavanjem otopina malih volumena u uskim šupljinama poput poklopaca, navoja, naslaga kamenca ili pijeska, često ovisno o atmosferskim uvjetima.

Najčešći uzrok pojave korozije u procjepu jest zbog loše konstrukcije i pogrešnog odabira tehnološkog rješenja. Nastanak korozije u procjepu prikazan je na slici 5.3.

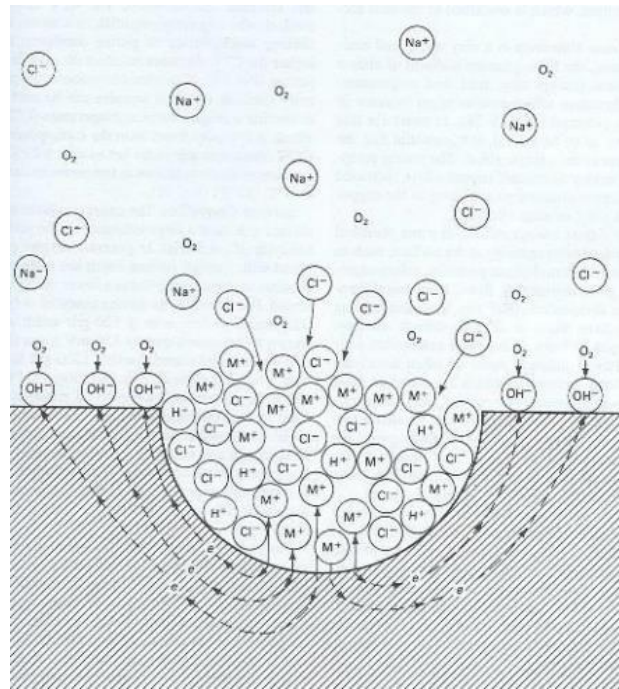


Slika 5.3. Korozija u procjepu [15]

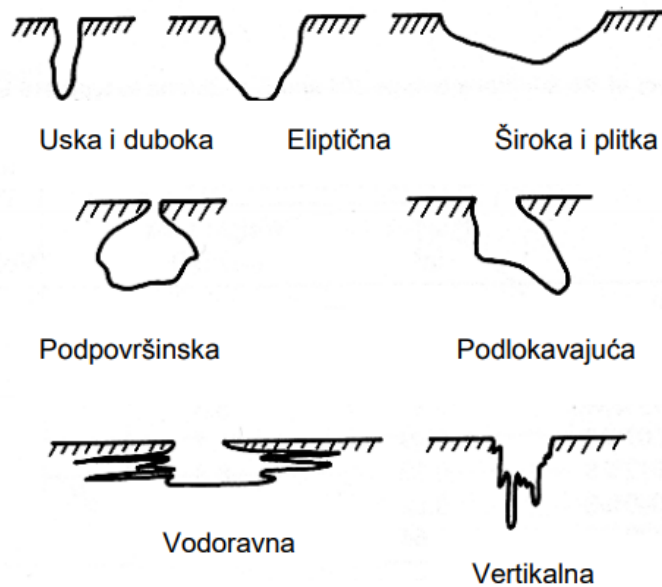
### 5.4. Rupičasta (Pitting) korozija

Korozija kod koje nastaju oštećenja materijala u obliku rupica, a protežu se od površine u metal. Definirana je kao korozija s lokaliziranim napadom na uskom dijelu materijala prilikom čega nastaju rupice. Rupičasta korozija najčešće nastaje zbog elektrokemijskog razaranja metala koji su uobičajeno u pasivnom stanju kao što je nehrđajući čelik. Primjer elektrokemijskog razaranja jesu kloridni ioni u vodenim otopinama koji su agresivan čimbenik koji dovode do razaranja pasivnog filma te uzrokuju rupičastu koroziju na metalima nehrđajućeg čelika. Pitting korozija jest vrlo opasna zbog toga što kad jednom nastane na površini ulazi u dubinu metala, gdje dolazi

do promjena materijala unutar pita koji postaje obogaćen metalnim kationima i kloridima. Takva pojava snižava pH vrijednost i potiče daljnju propagaciju pita. Princip nastanka pita prikazan je na slici 5.4. Na slici 5.5. prikazani su mogući oblici rupičaste korozije.



Slika 5.4. shematski prikaz rupičaste korozije [15]



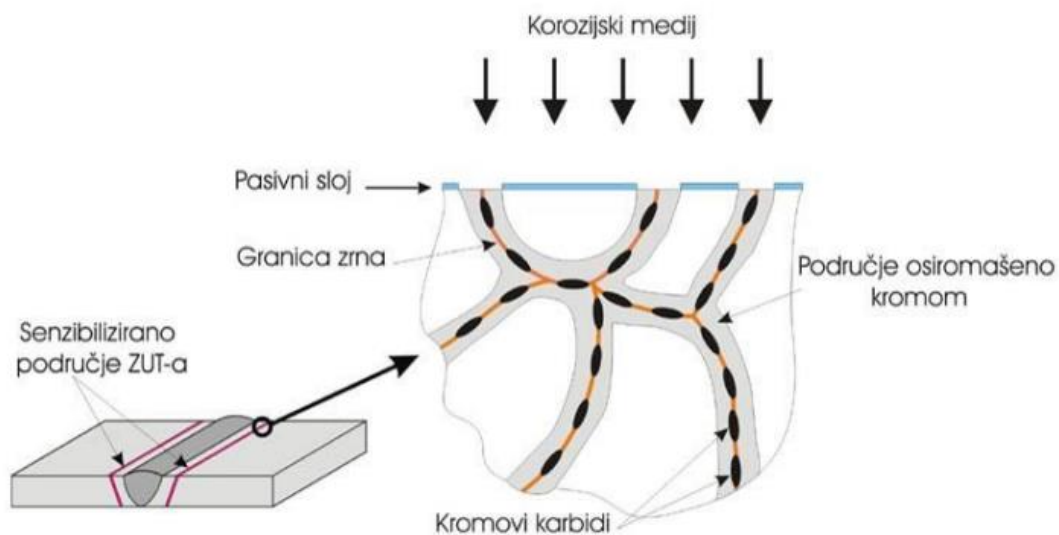
Slika 5.5. Mogući oblici rupičaste korozije [15]

Rupičasta korozija može se pojaviti u zavarenim spojevima materijala zbog ne homogenosti zavara.

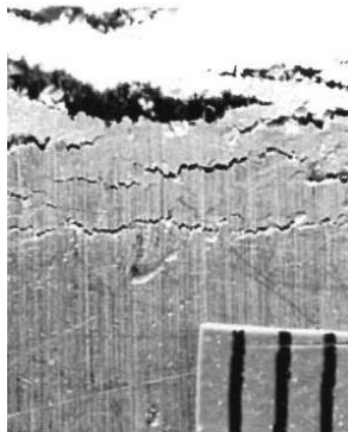
### 5.5. Interkristalna korozija

Naziva se još i intergranularna korozija jer napreduje uzduž granica zrna te dolazi do rastvaranja granica zrna u unutrašnjosti materijala. Najčešće neprimjetno, što dovodi do smanjenja čvrstoće i žilavosti metala te u konačnici, loma materijala. Ovakav oblik korozije pojavljuje se pri zagrijavanju na temperaturama od 400 do 800 °C, specifično za austenitne Cr-Ni legure i feritne Cr-čelike, za koje se smatra da su otporni na koroziju. [12]

Prilikom zagrijavanja Cr-Ni legure, na granicama zrna formiraju se kromovi karbidi koji u sebi sadrže visoki postotak kroma, a okruženi su područjima s niskim udjelom kroma. Takva osiromašena kromom struktura koja je nužna za osiguranje korozijske otpornosti stvara anodna mjesta u područjima osiromašenim kromom te katodna mjesta oko njih što dovodi do krajnjeg razaranja područja uz granica zrna. Na slici 5.6. prikazan je nastanak interkristalne korozije te na slici 5.7. primjer interkristalne korozije legure Cr-Ni



Slika 5.6. Shematski prikaz nastanka interkristalne korozije [16]



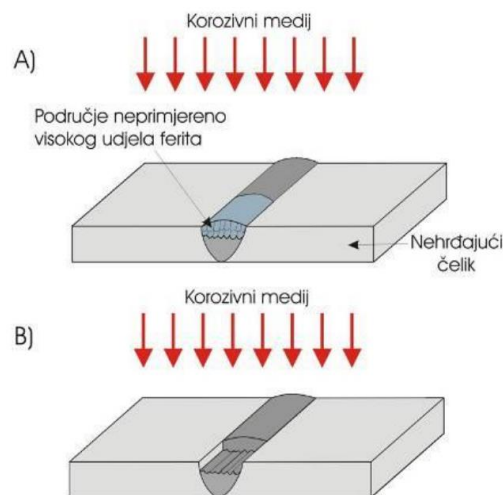
Slika 5.7. Primjer interkristalne korozije [16]



Interkristalna korozija danas više nije toliko opasna jer postoji nekoliko načina da se ona izbjegne. Jedno od mogućih tehnoloških rješenja jest zagrijavanjem na 815°C te naglim hlađenjem metala. Moguće je koristiti legure s manje od 0,03 %C, stabilizacijom čelika titanom i niobijem itd.

### 5.6. *Selektivna korozija*

Selektivna korozija jest proces koji korodira samo jednu komponentu višekomponentnog metala. Primjer takve korozije jest decinkacija mjedi koja je legura bakra i cinka. Cink je elektrokemijski negativniji materijal od bakra te zbog toga postaje anoda i izlučuje se iz mjedi što dovodi do nastanka čistog bakra s lošim mehaničkim i kemijski ne postojanim svojstvima. Proces selektivne korozije nastaje lokalno te je povezan s nastankom različitih naslaga ispod kojih se odvija korozija. Na slici 5.8. i 5.9 prikazan je zavareni spoj nehrđajućeg čelika prilikom čega je korišten pogrešan dodatan materijal za zavarivanje i nastanak selektivne korozije. Uslijed korištenja elektrode s viškom delta ferita, on zapravo postaje anoda korozijskog članka.



Slika 5.8. Shematski prikaz selektivne korozije [16]



Slika 5.9. Stvarni prikaz oštećenja selektivnom korozijom [16]

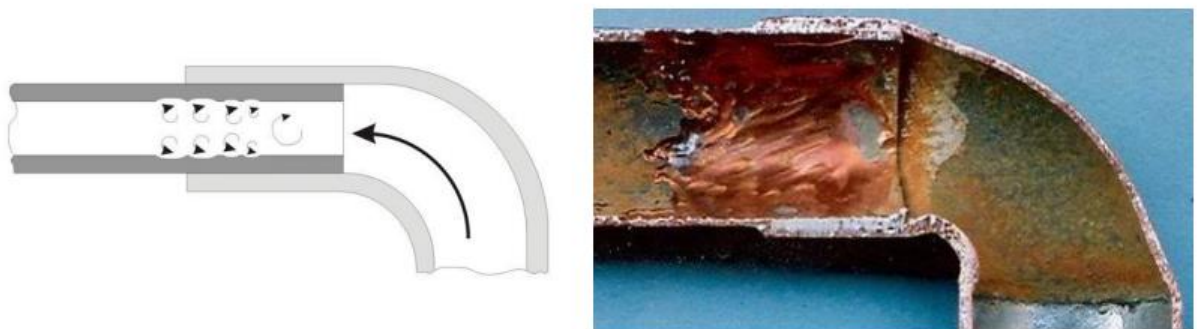
### 5.7. Erozijska korozija

Korozija koja je kombinirana istodobno korozijom i erozijom (fizikalnog oštećenja) materijala zbog međusobnog djelovanja površine i medija. Najčešće se pojavljuje prilikom prijenosa tekućine u cijevima. Brzina erozijske korozije povećava se s većom brzinom strujanja fluida bez obzira čak i kada je korozivnost medija mala. Razlog tome je što međusobno djeluje erozijsko oštećenje površine i korozija. Erozijska površina skida zaštitne slojeve u obliku otopljenih iona i onemogućuju zaštitno djelovanje prilikom čega dolazi do izlaganja površine metala korozivnom djelovanju medija. Korozijom se povećava hrapavost površine što dodatno ubrzava eroziju. Na slici 5.10 prikazane su posljedice erozijske korozije.



Slika 5.10. Posljedica erozijske korozije [16]

Osim klasične erozije unutar cijevi od strane fluida, moguće su pojave turbulencija i prisutnost krutih čestica koje dodatno ubrzavaju koroziju. Posebnu pažnju potrebno je obratiti na postupke spajanja cijevi pravilan odabir materijala. Na slici 5.11. prikazan je presjek bakrene cijevi u kojem se vide erozijska oštećenja uslijed protjecanja fluida i nastanka turbulencija u zglobu.



Slika 5.11. Erozijska korozija bakrenog cjevovoda [16]

### 5.8. Napetosna korozija

Napetosna korozija jest kombinacija korozivnog okoliša, materijala osjetljivog na koroziju i vlačnih naprezanja koji dovode do pojave pukotina na materijalu. Napetosnu koroziju prethodno je teško predvidjeti jer nema nikakvih lako uočljivih naznaka da se radi o koroziji već dolazi do pojave pukotina, a ponekad i loma materijala. Korozijom se pojavljuje krhki lom materijala koji je inače žilav u okolišu i dobro je postojan na koroziju. Naprezanja koja se pojavljuju kod napetosne korozije uobičajeno su mala i ispod granice razvlačenja, a mogu nastati zbog vanjskih uvjeta ili pak zaostalih unutarnjih naprezanja. Ovakav tip korozije najčešće se pojavljuje u okolini zavarenih spojeva gdje su nastala zaostala naprezanja i strukturne promjene materijala. Na slici 5.12. prikazan je shematski prikaz nastanka napetosne korozije



Slika 5.12. Nastanak napetosne korozije [17]

## 6. PRIMJERI OTKAZA ZAVARANIH SPOJEVA

Konstruktivski elementi koji se zbog određenih konstrukcijskih grešaka uruše, otkrivaju gdje su nastale konstrukcijske greške na kojima se danas temelje mnogi sigurnosni faktori. Dok sa druge strane konstrukcije koje su postojane ne otkrivaju jesu li dobro dimenzionirane ili su dimenzionirane sa previše gradiva i ekonomskih sredstava. Poruke koje nam ostavljaju pogreške konstrukcijskih elemenata i nesreće mostova potrebno je dobro istražiti i iskoristiti kako bi se izbjegle daljnje opasnosti od urušavanja, a naučile nove mogućnosti izrade konstrukcija. Faktor sigurnosti određen je različitim normama, a većina mostova koji su se srušili imali su faktor sigurnosti manji od jedan, a njihove konstrukcije su bile iscrpljene. Nesreće tih mostova potaknule su značajan razvoj promatranja konstrukcija i ponašanja materijala. Katastrofalne posljedice i otkazi zavarenih spojeva nastaju uslijed kombinacije različitih djelovanja mehaničke i kemijske postojanosti materijala te vanjskih atmosferskih utjecaja, a nerijetko rezultiraju sa smrtnim posljedicama.

Razlozi nastajanja nesreća mostova: [18]

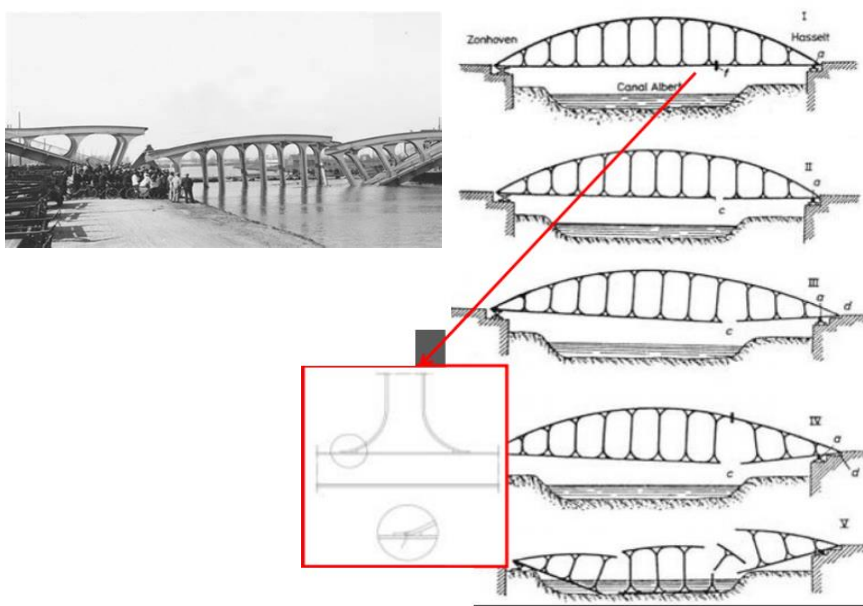
- popuštanje materijala,
- izvijanje/izbočenje konstrukcije,
- lom i zamor materijala,
- odrez i
- korozija metala ili zavara.

Uzroci oštećenja mostova su najčešće: [18]

- preopterećenost konstrukcijskih elemenata uslijed gubitka poprečnog presjeka,
- nedostaci prilikom izrade konstrukcije mosta,
- dugotrajni zamor i lom materijala,
- izvanredni događaji zbog udara vlakova, brodova i cestovnih vozila,
- prirodne neprilike požar i potres,
- neodržavanje konstrukcije (nedostatak pregleda) i
- nepredviđeni događaji.

### 6.1. Nesreće mostova

**Most Hasselt** u Belgiji se urušio unutar prve godine svoje eksploatacije. Nesreća je rezultirala krhkim lomom zavara pri  $-20^{\circ}\text{C}$ . Most je napravljen od čelične konstrukcije te je mogao izdržati određena dinamička naprezanja. Nažalost, zbog ljudske ne savjesnosti koristili su se materijali slabije kvalitete te je dokazano da se prilikom zavarivanja konstrukcije u zoni utjecaja topline (ZUT) narušila struktura osnovnog materijala i nastala je struktura pogodna za krhki lom. Slika 6.1. prikazuje mosnu konstrukciju i prikaz zavarenog spoja gdje je nastao krhki lom.



Slika 6.1. Urušavanje mosta Hasselt [18]

**Most preko kanala rijeke Mississippi, Wisconsin, SAD** čelični je most na kojem su ustanovljena oštećenja zbog sklonosti čeličnog materijala krhkom lomu. Osnovni materijal konstrukcije je sadržavao previše ugljika, mangana i sumpora. Most je zatvoren zbog nastalih pukotina na konstrukciji jer materijal koji se koristio nije propisan tehničkom specifikacijom. Slika 6.2. prikazuje nastalu pukotinu na konstrukciji.



Slika 6.2. Pukotina čelične konstrukcije na mostu

**Most Rainbow, Chongqing, Kina** je most u luci koji se srušio zbog loše kvalitete zavora i nedovoljne čvrstoće betona u cijevima. Most se srušio nakon tri godine eksploatacije, a koncesija za izgradnju mosta dobivena je korupcijom. Na slici 6.3. prikazani su ostaci mosta nakon rušenja, a dio mosta je odnijela voda.



Slika 6.3. Prikaz mosta nakon rušenja [19]

**Vijadukt Higashi-Nada, Kobe, Japan** je most koji se srušio nakon potresa. Do rušenja je došlo zbog pucanja armature na mjestu zavora što je ispitano nakon potresa. Armatura nije izdržala dinamička naprezanja jer su šipke bile zavarene previsoko, a korištena je tehnologija zavarivanja plinom pod pritiskom.



Slika 6.4. Prikaza oštećenih stupova vijadukta [20]

## 7. PREVENCIJA I ZAŠTITA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA

Zaštita metala od korozije može se primijeniti na više načina: promjenom vanjskih faktora korozije, promjenom unutrašnjih faktora korozije i nanošenjem prevlaka na konstrukcijske materijale.

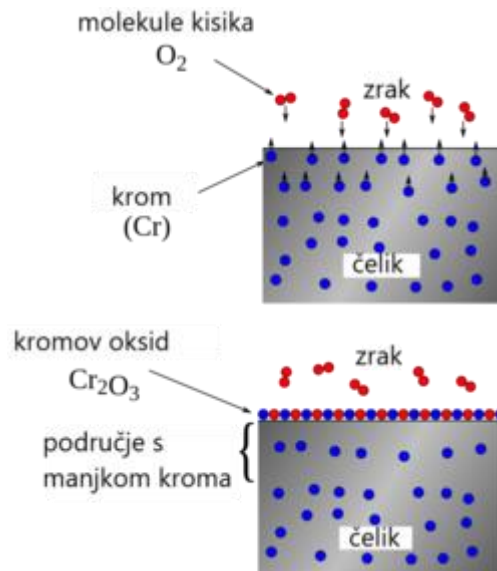
Korozija zavarenih spojeva može se spriječiti: [12, 13]

- Pravilnim izborom osnovnog i dodatnog materijala - pravilan odabir topljive elektrode može smanjiti razlike sastava zavarenog spoja i osnovnog materijala čime se smanjuje opasnost od pojave galvanske korozije.
- Pripremom površine - čiste površine i žlijebovi zavara smanjuju pojavu grešaka i korozijskog napada
- Projektiranja zavarenog spoja - pravilno projektiran šav zavarenog spoja kako bi se troska zadržala na površini zavara. U nepravilnom spoju cijevi mogu se pojaviti turbulencije i erozijska korozija.
- Postupkom zavarivanja - potrebno je ostvariti potpuni provar kako se ne bi pojavila korozija u procjepu. Pri višeslojnom zavarivanju potrebno je ukloniti trosku prije svakog prolaza.
- Površinskom obradom zavarenog spoja - glatka i površina bez nečistoća je najotpornija na koroziju. Hrapavost šava zavara se smanjuje brušenjem.
- Zaštitom površinske prevlake - ukoliko je moguća lokalna korozija između osnovnog materijala i zavara, tada se nanosi prevlaka koja prekriva metal šava i osnovni materijal.
- Termičkom obradom - često efikasan način za smanjenje unutarnjih naprezanja koje uzrokuju napetosnu koroziju. Naknadno žarenje uklanja i vodik iz zavarenih spojeva.
- Predgrijavanjem - predgrijavanjem osnovnog materijala prilikom zavarivanja smanjuje mogućnost nastanka vodikove krhkosti
- Uklanjanjem izvora vodika - izbor topljive elektrode, uklanjanje nečistoća i vlage sa površine

### 7.1. *Inhibitori*

Inhibitori su tvari anorganskog ili organskog porijekla uz pomoć kojih se smanjuje brzina korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Inhibitori se koriste u elektrolitima i vlažnim konstrukcijama (plovilima), a djeluju kao anodni, katodni ili kombinirani. Inhibitori su kemijski

spojevi koji se postavljaju na površinu metala te korodiraju brže od metala koji se štiti. Zaštita metala inhibitorima djeluje jednako kao i galvanska korozija, samo što se kod inhibicije postavlja inhibitor kako bi se očuvao osnovni materijal ili zavareni spoj. Prikaz postavljanja inhibitora kromovog oksida na nehrđajući čelik prikazan je na slici 7.1.



Slika 7.1. Inhibicija nehrđajućeg čelika

**Anodni inhibitori** su pasivatori koji sprječavaju ionizaciju metala. Po kemijskom sastavu anodni inhibitori su topljive soli kromati ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), nitriti ( $\text{NO}_2^-$ ), molibdati ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), volframati ( $\text{WO}_4^{2-}$ ) i vandati ( $\text{VO}_3$ ) koje u otopinama s pH vrijednosti od 5 do 9 usporavaju koroziju Fe, Ni, Co i njihovih legura te ih postavljaju u pasivno stanje. Premala količina anodnih inhibitora odnosno soli može dovesti do povećanja katodne površine čime se pojavljuje rupičasta korozija.

**Katodni inhibitori** izravno utječu na katodnu reakciju povećanjem prenapona ili djeluju kao taložni inhibitori koji na lokalnim katodama tvore netopljive produkte. Katodni inhibitori u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije i nisu opasni za osnovni materijal.

**Mješoviti inhibitori** imaju dvostruko djelovanje te u isto vrijeme inhibiraju i anodno i katodno. Najčešće su to spojevi organskog podrijetla koji se apsorbiraju na metalnoj površini i tako stvarajući sloj zaštitnog filma.

## 7.2. Zaštita metala prevlakom

Vrijednost materijala je određena i njegovom površinskom postojanošću što uvelike utječe na cijenu proizvoda ili konstrukcije iako nije potreba za takvim materijalom. Stoga se uvelike čelične konstrukcije premazuju raznim sredstvima radi zaštite od korozije i vanjskih uvjeta. Sve



više se površine materijala označavaju kao ključne za kvalitetu proizvoda. Prevlačenjem površina stvara se novi sloj koji štiti proizvod i estetski ga uljepšava. Druge metode su modificiranja površinskog sloja prema unutrašnjosti metala. Prevlake koje se nanose mogu biti metalne ili nemetalne (organske ili anorganske)

Prije provođenja tehnologija zaštite površine za kvalitetno prevlačenje potrebno je površine detaljno očistiti i ukloniti sve nečistoće kao i masnoće. Mehaničke metode obrade površine prije zaštite površine su:

- brušenje (grubo i fino),
- poliranje,
- obrada u bubnjevima,
- četkanje,
- pjeskarenje i
- sačmanje.

Kemijska obrada površina izvodi se u lužinama ili kiselinama uz uklanjanje korozivskih produkata.

#### *7.2.1. Organske prevlake*

Organske prevlake jedan su od najčešćih postupaka zaštita površine u tehnici. U organske prevlake se ubrajaju sve prevlake koje čine kompaktne organske tvari tvorbom opne. Općenito se takvi slojevi dobivaju nanošenjem boja i lakova, podmazivanjem plastičnim masama, granuliranjem i bitumeniziranjem.

**Boje i lakovi** se koriste kao premazna sredstva za gotovo sve površine. Nakon sušenja boje i lakova na površini metala stvara se zaštitni sloj koji štiti od korozije. Za zaštitnu prvo se postavlja boja koja se veže za materijal te daje pigment površini, ali je relativno meka i hrapava. Stoga se na boju postavlja lak koji daje tvrde i glatke zaštitne slojeve. Stupanj kvalitete i zahtjevi izgleda obojane i lakirane površine ovise o pripremi površine prije bojanja.

**Veziva** se koriste u tekućem ili praškastom stanju za povezivanje komponenti premazanog sredstva, a nakon sušenja se stvara tvrdi zaštitni sloj. Sastav veziva su sušiva ulja, prirodne i umjetne smole.

**Pigmenti** - praškaste tvari koje se ne otapaju u vezivu već zaštitnom sloju daju boju koja premaze učine neprozirnim. Pigmenti svojom bojom često reflektiraju svjetlost čime se smanjuje zagrijavanje i fotodestrukcija.

### 7.2.2. *Anorganske prevlake*

Prevlake koje se na površinu materijala nanose mehaničkim ili kemijskim putem prilikom čega nastaju filmovi ili slojevi kemijskog spoja na površini metala. Jedan od mehaničkih postupaka postavljanja anorganske prevlake jest emajliranje. Njime se prevlači metal specijalnim vrstama stakla (emajla) koje štiti metal i doprinosi estetskom izgledu. Emajliranjem se mogu prevlačiti svi metali iako se taj postupak najčešće koristi za zaštitu kupaonskih kada.

### 7.3. *Elektrokemijska metoda prevlačenja*

Koristi se kao zaštita metalnih konstrukcija gdje je moguć nastanak korozije, a metode se mogu razdvojiti na anodne i katodne zaštite.

#### 7.3.1. *Anodna zaštita od korozije*

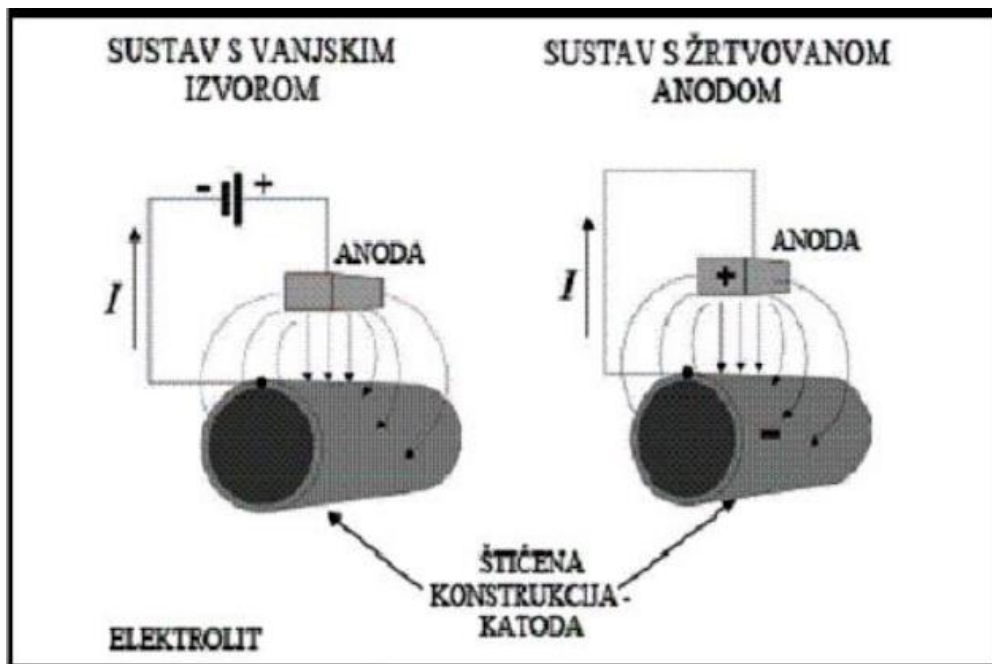
Postiže se na metalima koji se mogu pasivirati, što može usporiti brzinu korozije do  $10^4$  puta. Zaštita se može provesti s izvorom istosmjerne struje i protektorom, ali se zbog svojih ograničenja ne upotrebljava često.

**Izvorom istosmjerne struje** djeluje se na metal kako bi se doveo u pasivno područje i održavao u pasivnom području.

**Protektorom** koji se spaja s metalom i čini potencijal pozitivniji od potencijala metala koji se štiti. Zaštita se postiže ukoliko je potencijal katodnog protektora pozitivniji od potencijala metala kojeg se štiti, a korozijski potencijal potrebno je dovesti u pasivno stanje. Protektori koji se koriste za zaštitu čelika su platina, paladij, srebro ili bakar. Područja pasivacije ovise uvelike o pH, temperaturi, sastavu i koncentraciji korozijske sredine.

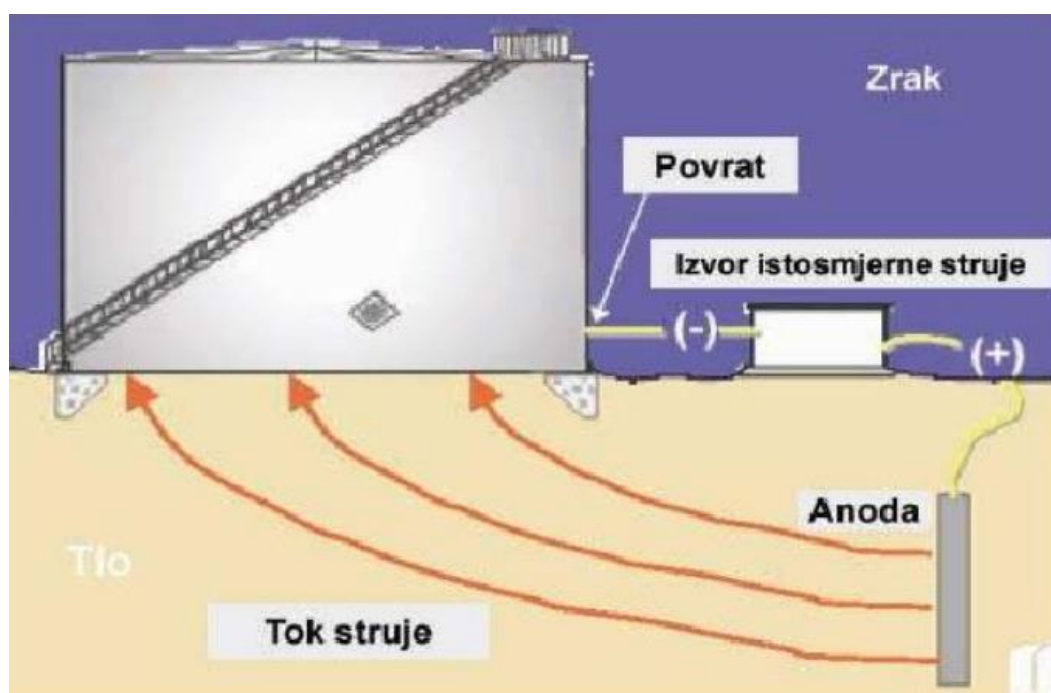
#### 7.3.2. *Katodna zaštita od korozije*

Najznačajnija metoda zaštite metala od korozije u elektrolitima. Katodna zaštita usporava koroziju polarizacijom metala prema negativnom smjeru. Zaštita se može provesti pomoću vanjskog izvora istosmjerne struje ili pomoću žrtvene anode odnosno protektorom. Shematski prikaz katodne zaštite od korozije prikazan je na slici 7.2.



Slika 7.2. Katodna zaštita metala[17]

**Katodna zaštita uz vanjski izvor struje** kojim se zaštićuju metalne konstrukcije u morskoj vodi, tlu i drugim vodljivim sredstvima. Istosmjerna struja dolazi do anodnog uzemljenja, a zatim kroz tlo ulazi u konstrukciju koja se štiti, te kroz metal dolazi do mjesta priključka vanjskog izvora. Zbog anoda koje se koriste u katodnoj zaštiti koje su napravljene od inertne platine, titana, nikla ili tantala, ova zaštita jest skupa ali je uvijek trajanja jedne anode od 10 do 20 godina. Shematski prikaz katodne zaštite prikazan je na slici 7.3.



Slika 7.3. Katodna zaštita uz vanjski izvor struje [17]

**Katodna zaštita protektorom (žrtvenom anodom)** jest zaštita osnovnog materijala slična kao i kod katodne zaštite pomoću istosmjerne struje, samo što kod ovog sustava predmet koji štiti (protektor) imitira izvor struje. Katoda ovog sustava je osnovni materijal ili predmet, a anoda jest žrtveni metal. Slika 7.4. prikazuje primjer katodne zaštite protektorom na brodu u području propelera broda.



Slika 7.4. Žrtvene Anode na brodu [5]

## 8. METODIČKI DIO

### 8.1. Područja strukovnog obrazovanja vezana uz temu diplomskog rada

Tema diplomskog rada obuhvaća moguće otkaze zavarenih konstrukcija u eksploataciji, a sadržaji koji su obuhvaćeni temom prvenstveno se obrađuju u industrijskim i obrtničkim strukovnim školama za smjer zavarivača. Konstrukcijski otkazi i pogreške koje mogu nastati prilikom pogrešnog odabira materijala pohađaju učenici tehničkih i građevinskih škola. U nastavku rada navedena je analiza strukovnih škola u Republici Hrvatskoj, program zanimanja zavarivač te Nastavni plan i program za smjer zavarivača.

### 8.2. Ustroj strukovnog obrazovanja u Republici hrvatskoj

Odgojno – obrazovni sustav u Republici Hrvatskoj ustrojen je prema Hrvatskom klasifikacijskom okviru (HKO) i podijeljen je na osam odgojno-obrazovnih razina prikazanih u tablici 8.1. [21]

Tablica 8.1. Podjela osam odgojno obrazovnih razina [21]

Razina prema HKO	Stupanj obrazovanja	Opis razina ishoda učenja
1	osnovno obrazovanje	<p><b>Znanja:</b> pamćenje općih činjenica i pamćenje općih teorijskih znanja.</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> jednostavna konkretna logička razmišljanja.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> izvođenje jednostavnih pokreta u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> ostvarivanje općih pravila ponašanja u poznatim socijalnim uvjetima.</p> <p><b>Samostalnost:</b> izvršenje jednostavnih zadataka pod neposrednim stručnim i stalnim vodstvom u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje odgovornosti za izvršavanje jednostavnih zadaća u poznatim uvjetima.</p>

2	strukovno osposobljavanje	<p><b>Znanja:</b> razumijevanje osnovnih činjenica i pojmova u izvršavanju jednostavnih zadataka u području rada ili učenja.</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> konkretna, logička razmišljanja potrebna za primjenu informacija za izvršenje zadataka u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> jednostavna upotreba metoda, instrumenata i alata u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> primjena jednostavne komunikacije i suradnje s pojedinim osobama u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Samostalnost:</b> izvršavanje jednostavnih zadataka pod stručnim vodstvom u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje odgovornosti za izvršavanje jednostavnih zadataka i odnosa s drugima u poznatim uvjetima.</p>
3	jednogodišnje i dvogodišnje srednjoškolsko strukovno obrazovanje	<p><b>Znanja:</b> primjenjivanje osnovnih činjenica u izvršavanju zadataka unutar područja rada ili učenja.</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> jednostavna konkretna kreativna razmišljanja potrebna za odabir i primjenu informacija za izvršenje skupa složenih zadataka u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> složena upotreba metoda, instrumenata i alata u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> ostvarivanje složenih komunikacija i suradnje u skupini u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Samostalnost:</b> izvršavanje složenih zadataka i prilagođavanje vlastitog ponašanja unutar zadanih smjernica u poznatim uvjetima.</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje odgovornosti za izvršavanje složenih zadataka u poznatim uvjetima.</p>

<p><b>4.1</b></p> <p><b>4.2</b></p>	<p>trogodišnje strukovno obrazovanje;</p> <p>gimnazijsko srednjoškolsko obrazovanje;</p> <p>četverogodišnje i petogodišnje strukovno srednjoškolsko obrazovanje</p>	<p><b>Znanja:</b> analiziranje činjenica, pojmova, postupaka, unutar područja rada ili učenja.</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> jednostavna apstraktna logička razmišljanja za izradu rješenja složenih zadataka unutar područja rada ili učenja u promjenjivim uvjetima.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> izvođenje složenih pokreta te primjena složenih metoda, instrumenata, alata i materijala u promjenjivim uvjetima.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> ostvarivanje složenih komunikacija u komunikaciji s pojedincima i suradnje u skupini u promjenjivim uvjetima.</p> <p><b>Samostalnost:</b> izvršenje složenih zadataka i prilagođavanje vlastitog ponašanja unutar zadanih smjernica u promjenjivim uvjetima.</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje djelomične odgovornosti za vrednovanje i unapređenje aktivnosti u promjenjivim uvjetima.</p>
<p><b>5</b></p>	<p>stručni studiji završetkom kojih se stječe manje od 180 ECTS bodova;</p> <p>strukovno specijalističko usavršavanje i osposobljavanje;</p> <p>programi za majstore uz najmanje dvije godine vrednovanog radnog iskustva</p>	<p><b>Znanja:</b> analiziranje i sintetiziranje činjenica, pojmova, postupaka, principa i teorija kojima se stvara svijest o poznatim granicama područja rada ili učenja.</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> jednostavna apstraktna kreativna razmišljanja u djelomično nepredvidivim uvjetima.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> izvođenje složenih pokreta te primjena složenih metoda, instrumenata, alata i materijala u djelomično nepredvidivim uvjetima kao i izrada instrumenata, alata i materijala.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> upravljanje složenih komunikacija i suradnje u skupini u djelomično nepredvidivim uvjetima.</p> <p><b>Samostalnost:</b> sudjelovanje u upravljanju aktivnostima u djelomično nepredvidivim uvjetima</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje odgovornosti za upravljanje te ograničene odgovornosti za vrednovanje aktivnosti u djelomično nepredvidivim uvjetima.</p>

6	sveučilišni preddiplomski studiji; stručni preddiplomski studiji	<p><b>Znanja:</b> vrednovanje činjenica, pojmova, postupaka, unutar područja rada ili učenja, uključujući dio na rubovima poznatih granica</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> apstraktna logička razmišljanja koja su potrebna za razvijanje rješenja apstraktnih problema u nepredvidivim uvjetima.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> izvođenje složenih pokreta te upotreba složenih metoda, instrumenata, alata i materijala u nepredvidivim uvjetima te izrada složenih metoda, instrumenata, alata i materijala.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> upravljanje složenih komunikacija i suradnje u raznim društvenim skupinama u nepredvidivim uvjetima</p> <p><b>Samostalnost:</b> upravljanje stručnim projektima u nepredvidivim uvjetima.</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje etičke i društvene odgovornosti za upravljanje i vrednovanje profesionalnog razvoja pojedinaca i skupina u nepredvidivim uvjetima.</p>
7	sveučilišni diplomski studiji; specijalistički diplomski stručni studiji; poslijediplomski specijalistički studiji	<p><b>Znanja:</b> vrednovanje činjenica do poznatih granica nekog područja rada ili istraživanja te povezivanje znanja među različitim područjima koja mogu biti temelj znanstvenog istraživanja u dijelu toga područja.</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> apstraktna kreativna razmišljanja potrebna u istraživanjima za razvijanje novih znanja i procedura koje se integriraju u različita područja.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> izvođenje složenih radnji te upotreba složenih metoda, instrumenata, alata i materijala kao i izrada složenih instrumenata, alata i materijala u istraživanjima i inovativnom procesu.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> upravljanje i vođenje složenom komunikacijom, interakcijama u različitim društvenim skupinama i narodima u nepredvidivim socijalnim situacijama.</p> <p><b>Samostalnost:</b> upravljanje složenim i promjenjivim uvjetima okruženja i donošenje odluka u uvjetima nesigurnosti.</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje osobne i timske odgovornosti za strateško odlučivanje i uspješno provođenje i izvršenje zadataka u nepredvidivim uvjetima te društvene i etičke odgovornosti tijekom izvršenja zadataka.</p>



<p><b>8.1</b></p> <p><b>8.2</b></p>	<p>poslijediplomski znanstveni magistarski studiji;</p> <p>poslijediplomski sveučilišni (doktorski) studiji; obrana doktorske disertacije izvan studija</p>	<p><b>Znanja:</b> kreiranje i vrednovanje novih činjenica, pojmova i postupaka u području znanstvenih istraživanja što dovodi do pomicanja granica znanja.</p> <p><b>Spoznajne vještine:</b> korištenje naprednih, složenih znanja, vještina, aktivnosti i postupaka potrebnih za razvijanje novih znanja i novih metoda te za integriranje različitih područja.</p> <p><b>Psihomotoričke vještine:</b> kreiranje te analiziranje novih predloženih pokreta i novih metoda, instrumenata, alata i materijala.</p> <p><b>Socijalne vještine:</b> kreiranje i provedba novih društvenih i civilizacijski prihvaćenih oblika komunikacije i suradnje u interakciji s pojedincima i skupinama različitih opredjeljenja, naroda i etničkog podrijetla.</p> <p><b>Samostalnost:</b> izražavanje osobnog profesionalnog i etičkog autoriteta, te trajna predanost znanstveno-istraživačkim aktivnostima za razvoju novih ideja ili procesa.</p> <p><b>Odgovornost:</b> preuzimanje etičke i društvene odgovornosti za uspješnost provođenja istraživanja, za društvenu korisnost rezultata istraživanja te za moguće društvene posljedice.</p>
-------------------------------------	---	---

### 8.3. Opis programa zanimanja zavarivač

Obrazovanje za zanimanje zavarivača pripada u Obrazovni sektor Strojtarstvo, brodogradnja i metalurgija. Vrijeme trajanja obrazovanja jest dvije godine. Uvjeti za upis navedenog zanimanja je završena osnovna škola i zadovoljavajuća zdravstvena sposobnost.

Ciljevi nastavnog plana i programa su:

- Razvoj znanja, vještina i stavova za razvoj uloge zavarivača i daljnje učenje
- Stjecanje praktičnih i teoretskih znanja te vještina za obavljanje poslova zavarivača:
  - Stjecanje znanja i vještina za pravilno rukovanje uređajima i alatima tijekom rada te njihovo pravilno održavanje
  - Stjecanje znanja o sigurnosti pri radu
  - Razvoj ekološke svijesti i osobne odgovornosti.

Kompetencije koje stječe učenik završetkom programa:

1. Sudjelovanje u jednostavnom usmenom i pismenom sporazumijevanju,
2. Sudjelovanje u grupnoj raspravi

3. Čitanje i sinteza podataka iz dokumenta o istoj temi
4. Razlikovati i koristiti odgovarajuće postupke u radu s opremom i alatima za zavarivanje
5. Izraditi žljebove na metalnim materijalima i postaviti (pozicionirati) u položaj za zavarivanje prema radioničkim crtežima
6. Razlikovati dijelove uređaja, opreme i alata i objasniti njihove funkcije
7. Provoditi kontrole ispravnosti plinskih instalacija
8. Pripremiti uređaje, opremu i alat za početak rada, rukovati njima na stručan i siguran način te ih pravilno transportirati i odlagati (skladištiti)
9. Provoditi preglede uređaja, opreme i alata, te voditi radnu i servisnu dokumentaciju
10. Otkriti, prijaviti i servisirati manje kvarove na uređajima, opremi i alatima, zamijeniti oštećene i istrošene dijelove
11. Primijeniti sigurnosne mjere zaštite na radu, zaštite okoliša i zaštite od požara te pružiti prvu pomoć u slučaju nezgode do dolaska stručne osobe

Nastava je provedena na način da sadrži opće-obrazovni dio, stručno teorijski dio i praktičnu nastavu. Nastavni plan i program za smjer zavarivača prikazan je u tablici 8.2.

Tablica 8.2. Nastavni plan i program za smjer zavarivača. [22]

<b>Zavarivač</b>				
RB	NASTAVNI PREDMET	Sati tjedno/godišnje		Ukupno sati
		1.godina	2.godina	
		<b><i>I. opće-obrazovni dio</i></b>		
1.	Hrvatski jezik	2,5/85	2,5/70	155
2.	Računalstvo	2,0/68	-	68
3.	Tjelesna i zdravstvena kultura	1,5/51	1,5/42	93
4.	Vjeronauk/etika	1,0/34	1,0/28	62
	<b>Ukupno: opće-obrazovni dio</b>	<b>7/238</b>	<b>5/140</b>	378
		<b><i>II. stručno-teorijski dio</i></b>		
5.	Strani jezik	1,0/34	1,0/28	62
6.	Poduzetništvo	-	1,0/28	28

7.	Matematika u struci	2,0/68	1,0/28	96
8.	Tehnologija zavarivanja	3,0/102	3,0/84	186
9.	Osnove brodogradnje s materijalima	1,0/34	1,0/28	62
10.	Strojevi i uređaji za zavarivanje	1,0/34	1,0/28	62
11.	<b>Izborni predmeti:*</b> <b>zavarivanje i rezanje plamenom TIG</b> <b>zavarivanje</b>	-	2,0/56	56
	<b>Ukupno: stručno-teorijski dio</b>	<b>8/272</b>	<b>10/280</b>	552
	<b>Ukupno: I + II</b>	<b>15/510</b>	<b>15/420</b>	930
		<b>III. praktični dio</b>		
11.	Praktična nastava	14/504	14/504	1008
	<b>UKUPNO: I. + II. + III.</b>	<b>29/1014</b>	<b>29/924</b>	1938

#### 8.4. Nastavni plan predmeta Tehnologija zavarivanja

Učenici pohađaju nastavni predmet Tehnologija zavarivanja u prvom i drugom razredu uz predviđeni fond sati od 3 sata tjedno. Godišnji fond sati u prvom razredu je 102 sata, a u drugom razredu je 84 sata.

Zadaci koji su predviđeni za nastavnika: [23]

1. Upoznati polaznike s postupcima zavarivanja
2. Osposobiti polaznika za svladavanje vještina elektrolučnog zavarivanja
3. Objasniti polaznicima probleme tehnologije zavarivanja da bi poduzimali mjere koje će spriječiti nepoželjne pojave u radu
4. Polaznicima prikazati izvore opasnosti pri radu i kako ih izbjeći korištenjem sredstava sigurnosti i zaštite pri radu
5. Razviti želju kod polaznika za napredovanjem putem svih oblika za cjeloživotno obrazovanje
6. Upoznati polaznika s osnovnim pojmovima i zakonitostima te mogućnosti i domet korištenja električne energije u području zanimanja
7. Osposobiti polaznika za primjenu stečenih znanja kod rješavanja poslova i zadataka
8. Upoznati polaznika na mjere zaštite od električnog napona
9. Upoznati polaznika sa stručnom literaturom ovog područja, standardima, uputama i sl.

10. Razvijati kod polaznika odgovornost i obveze primjene zaštite na radu tijekom izvođenja radnih zadataka.

U tablici 8.3 navedeni su sadržaji nastavne cjeline za prvi razred, a u tablici 8.4 za drugi razred. Uz nastavne cjeline navedeni su ciljevi i nastavni sadržaji koje će polaznici obraditi.

Tablica 8.3. Nastavni plan za prvi razred [23]

Nastavne cjeline	Očekivani rezultati	Nastavni sadržaj
Uvod u zaštitu na radu	Poznavati mjere, sredstva i postupke zaštite na radu	Funkcija i važnost zaštite pri radu. Ostvarivanje i uređivanje zaštite pri radu. Osposobljavanje radnika za rad na siguran način
Mjere sigurnosti prilikom primjene električne energije		Električna energija i njeno djelovanje. Opasnosti od električne struje. Tehničke mjere zaštite. Pružanje prve pomoći pri povredi električnom strujom
Mehanički ručni alat		Opasnosti pri radu s ručnim mehaničkim alatom. Opasnosti od strojeva za prijenos mehaničkog gibanja. Osnovne vrste zaštitnih naprava i njihova primjena. Nadzor i održavanje alata. Opasnosti pri izvođenju radnih postupaka.
Mjere i zaštite pri radu na skelama		Opasnosti pri radu na skelama i mjere zaštite. Načini montaže i održavanje skela, prolaza i prilaza na visini.
Opasnost i mjere zaštite od štetnih prašina i plinova		Djelovanje metalne prašine na ljudski organizam. Mjere zaštite, štetni plinovi i opasnosti pri radu s njima.

Nastavne cjeline	Očekivani rezultati	Nastavni sadržaj
Mjere zaštite od zračenja		Zračenje i djelovanje na organizam. Mjere zaštite od toplinskog-infracrvenog, ultraljubičastog, rendgenskog i radioaktivnog zračenja.
Osnovna načela sigurnosti pri radu u uskim i zatvorenim prostorijama		Opasnosti od trovanja i eksplozije. Mjere zaštite.
Osnovna načela sigurnosti u unutarnjem prijevozu		Ručni prijevoz. Noseća i pomoćna sredstva za vezivanje tereta. Vezivanje tereta i signalizacija. Prometnice i ostali putovi. Sredstva unutarnjeg prijevoza.
Osnove gašenja požara		Osnovni uvjeti gorenja. Izvori i uzroci požara. Postupci i sredstva za gašenje požara. Ručni aparati za gašenje.
Osnove tehničkog crtanja	Znati i razumjeti čitati radioničke crteže	<p>Vrste crteža i standardi u tehničkom crtanju: crte, formati crteža, mjerila, zaglavlja i sastavnice</p> <p>Prostorno prikazivanje i kotiranje</p> <p>Pravokutno projiciranje i kotiranje</p> <p>Nacrt, tlocrt, bokocrt, presjeci</p> <p>Čitanje radioničkog crteža</p> <p>Izrada radioničkog crteža</p> <p>Brodograđevni radionički i montažni nacrti</p> <p>Puni presjeci. Predočavanje presjeka šrafurom. Pojednostavljeno crtanje i kotiranje brodograđevnih nacrti</p> <p>Pojednostavljenja pri crtanju i kotiranju provrta, upuštanja i navoja.</p>
Zavarivanje kao postupak spajanja u nerastavljivu vezu	Znati osnove rada strojeva i uređaja za zavarivanje	Povijest zavarivanja. Razvoj zavarivanja u brodogradnji i utjecaj na konstrukciju broda Osnovni pojmovi iz tehnike zavarivanja

Nastavne cjeline	Očekivani rezultati	Nastavni sadržaj
Električni luk		Osnovne električne veličine i njihovo djelovanje. Pojam i uspostavljanje električnog luka.
Osnovne značajke izvora električne struje za zavarivanje		Statičke značajke. Radna točka. Područje regulacije.
Transformatori		Načelo rada transformatora za zavarivanje (s pomičnom kotvom, s promjenom broja zavoja, s prigušnicom i pomičnim svitkom).
Ispravljači za zavarivanje		Opis, značajke i načelo rada.
Generatori za zavarivanje		Generatori izmjenične i istosmjerne struje (informativno).
Zavareni spojevi	Znati karakteristike i postupke zavarivanja	Podjela i vrste spojeva. Elementi žlijeba (oblici i dimenzije). Oznake na nacrtima i limovima. Priprema žljebova. Elementi i vrste zavara.
Elektrolučno zavarivanje		Električni luk. Karakteristike električnog luka.
Elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom		Karakteristike postupka zavarivanja. Prijelaz rastopljenog materijala u spoj. Dodatni materijal: funkcije obloge, karakteristike obloge, upute za izbor. Redoslijed zavarivanja

Nastavne cjeline	Očekivani rezultati	Nastavni sadržaj
Poluautomatsko zavarivanje		Karakteristika postupka. MAG postupak zavarivanja. Postupci TIG i MIG. Vrste: gravitacijsko, auto kontaktno. Ekonomska usporedba s ručnim zavarivanjem.
Pogreške		Vrste pogrešaka. Utjecaj tehničko-tehnoloških faktora. Utjecaj kemijskih faktora. Utjecaj ljudskog faktora. Utvrđivanje i otklanjanje pogreške. Načini izbjegavanja pogrešaka.

Tablica 8.4. Nastavni plan za drugi razred [23]

Nastavna cjelina	Ciljevi	Nastavni sadržaji
Standardna priprema žljebova za zavarivanje sučeonog V spoja zidnom i naglavnom položaju	Znati izabrati i pripremiti materijal za zavarivanje	Brušenje stranica žlijeba. Zračnost u korijenu žlijeba, kod zidnog i naglavnog sučeonog V spoja Čišćenje spoja prije zavarivanja: <ul style="list-style-type: none"> <li>• od korozije</li> <li>• od masnoće</li> <li>• od ostataka rezanja</li> <li>• od drugih nečistoća.</li> </ul>
Osnovni i dodatni materijali za zavarivanje		Zavarljivost brodograđevnih čelika međusobno i brodograđevnih čelika s nehrđajućim čelicima. Zavarljivost nehrđajućih čelika međusobno Vrste elektroda i njihova primjena: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutilne, bazične, celulozne,</li> <li>• Za zavarivanje sivog lijeva,</li> <li>• Za zavarivanje obojenih metala,</li> <li>• Za navarivanje,</li> <li>• Specijalne elektrode za reparaturno zavarivanje i dr.</li> </ul>
Parametri koji utječu na kvalitetu zavarivanja	Znati parametre zavarivanja	Položaj u zavarivanju. Vrste el. struje i polariteta u zavarivanju. Duljina električnog luka, nagib elektrode. Brzina zavarivanja. Tehnika rada (njihanje). Uspostavljanje i prekidanje el. luka. Izvođenje nastavka.
Tehnika izvođenja zavarivanja sučeonog V spoja u zidnom položaju	Znati tehnike izvođenja zavarivanja	Tehnika zavarivanja. Parametri zavarivanja.
Tehnika izvođenja zavarivanja sučeonog V spoja u naglavnom položaju		Tehnika zavarivanja. Parametri zavarivanja.



Zavarivanje brodograđevnih čelika s nehrđajućim čelicima	Poznavati zavarivanje specijalnim elektrodama	Tehnika zavarivanja kutnog T spoja u vertikalnom i naglavnom položaju odozdo prema gore specijalnim elektrodama
Povišena zračnost i njeno uklanjanje	Poznavati deformacije koje se javljaju pri zavarivanju	Povišena zračnost kod sučeonih spojeva. Način rješavanja povišene zračnosti kod sučeonih spojeva.
Način sprječavanja deformacija kod sučeonih spojeva		Poštivanje plana i redoslijeda zavarivanja. Pravilan odabir parametara za zavarivanje. Pravilan odabir postupka zavarivanja. Način postavljanja spojnih komada prije zavarivanja.
Pogreške kod zavarenih spojeva	Znati pogreške zavarenih spojeva	Vrste pogrešaka: <ul style="list-style-type: none"> <li>• pukotine</li> <li>• uključci plina</li> <li>• šupljine (poroznost)</li> <li>• uključci u skrućenom stanju</li> <li>• naljepljivanje, nedostatak provara, pogreške oblika i dr.</li> </ul> Uzroci, sprječavanje i otklanjanje pogrešaka kod zavarivanja.

8.5. Priprema za izvođenje nastave za pripadnu razinu kvalifikacije u skladu s HKO sadržajno vezana uz temu rada

## S V E U Č I L I Š T E U R I J E C I

### STUDIJ POLITEHNIKE

Ime i prezime: Antonio Lauš

### P R I P R E M A

### Z A I Z V O Ď E N J E N A S T A V E

Škola: Elektrostrojarska škola Varaždin

Mjesto: Varaždin

Razred: 1. e

Zanimanje: Zavarivač

Nastavni predmet: Tehnologija zavarivanja

Kompleks: Pogreške

Metodička (nastavna) jedinica: Načini izbjegavanja pogrešaka

Datum izvođenja: 31. 5. 2021.

### S A D R Ź A J N I P L A N

Podjela kompleksa na teme (vježbe, operacije)

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1.	Vrste pogrešaka	3	1
2.	Utjecaj tehničko-tehnoloških faktora.	1	2
3.	Utjecaj kemijskih faktora.	2	2
4.	Utjecaj ljudskog faktora.	2	2
5.	Utvrđivanje i otklanjanje pogreške.	1	2
<u>6.</u>	<u>Načini izbjegavanja pogrešaka.</u>	<u>1</u>	<u>2</u>

## **Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice**

Formativni karakter – Obrada sadržaja zbog osposobljavanja učenika za poznavanje mogućnosti sprječavanja nastanka korozije u zavarenim spojevima te poboljšanje kvalitete zavarivanja tehnologijom zavarivanja.

## **PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA**

### **Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:**

Steći znanja u području zavarivanja radi poznavanja različitih mogućnosti nastanka pogrešaka unutar zavarenog spoja u svrhu što kvalitetnije izrade i spajanje metala tehnologijom zavarivanja.

### **Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):**

- **ZNANJE I RAZUMIJEVANJE** (*obrazovna postignuća*):
  - Objasniti kako nečistoće utječu na kvalitetu i pojavu korozije zavarenog spoj
  - Navesti i objasniti načine sprječavanja nastanka korozije u zavarenom spoju
  - Imenovati dijelove zavarenog spoja navedenih na shemi
  
- **VJEŠTINE I UMIJEĆA** (*funkcionalna postignuća*):
  - Pripremiti, očistiti žlijeb zavara za spajanje osnovnih metala tehnologijom zavarivanja
  - Spajati dva materijala tehnologijom zavarivanja sa većom kvalitetom zavarenog spoja
  - Termički obraditi zavareni spoj nakon zavarivanja u svrhu smanjenja mogućnosti nastanka korozije
  
- **SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST** (*odgojna postignuća*):
  - Aktivno sudjelovati u nastavi i pratiti upute nastavnika u cilju stjecanja iskustva
  - Savjesno pripremiti zavaren spoj u cilju smanjenja mogućnosti nastanka katastrofalnih pogrešaka i otkaza konstrukcije.

**Organizacija nastavnog rada – artikulacija metodičke jedinice:**

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
UVODNI DIO	- Ponavljanje sadržaja - utvrđivanje pogrešaka - Uvođenje u novo gradivo - izbjegavanje pogrešaka	- Dijalog s učenicima kako možemo spriječiti nastanak korozije	10
GLAVNI DIO	- Vrste zaštite zavarenog spoja i metala od korozije - Zaštita promjenom vanjskih faktora - Zaštita promjenom unutarnjih faktora - Nanošenjem prevlaka - Otkazi zavarenih spojeva	- Predavanje o načinu zaštite zavarenog spoja i metalne konstrukcije - Dijalog s učenicima o mogućim stradanjima zbog nepoštivanja pravila i normi	30
ZAVRŠNI DIO	- Ponavljanje sadržaja - Pitanja	- Ponavljanje sadržaja - Dijalog svjesnosti prilikom zavarivanja - Predavanje o idućem satu - vježbe	5

**Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:**

Nastavna pomagala i sredstva:

Prezentacija, projektor, ploča

**Korelativne veze metodičke jedinice s ostalim predmetima i područjima:**

Fizika – promjena fizikalnih svojstava metala

Kemija – oksidacija metala

**Metodički oblici koji će se primjenjivati tijekom rada:**

### **Uvodni dio**

- Ponavljanje sadržaja – utvrđivanje pogrešaka
- Uvođenje u novo gradivo – izbjegavanje pogrešaka

### **Glavni dio**

- Vrste zaštite zavarenog spoja i metala od korozije
- Zaštita promjenom vanjskih faktora
- Zaštita promjenom unutarnjih faktora
- Nanošenjem prevlaka
- Otkazi zavarenih spojeva

### **Završni dio**

- Ponavljanje sadržaja
- Pitanja

### **Izvori za pripremanje nastavnika:**

Bore, J; Biljana, B.: Korozija zavarenih spojeva, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 63(1), 2005, pp. 111-115

### **Izvori za pripremanje učenika:**

Udžbenik za 1. razred strukovnih škola u području strojarstva i brodogradnje, Obrada metala, Frano Bračanin, Školska Knjiga

## **TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD**

### UVODNI DIO

Pozdraviti učenike, zapisati nastavni sat i zabilježiti koji učenici nisu prisutni na nastavi. Dijalogom s učenicima ponoviti gradivo s prethodnog sata. Postaviti pitanja koji su glavni razlozi nastanka grešaka u zavarenim spojevima, što je nepoželjno u zavarenim spojevima, navesti načine pomoću kojih se greške mogu utvrditi.

Najaviti učenicima današnje gradivo u kojem će učiti kako smanjiti mogućnosti nastajanja pogrešaka u zavarenim spojevima. Učenicima objasniti kako se greške mogu smanjiti u mjeri da nam daju zadovoljavajuće tehničke specifikacije. Učenicima na projekciji prikazati poprečni

presjek zavarenog spoja sa svim nazivima granica, zona i elemenata zavara. Na ploči napisati kako se velik dio nastanka korozije pojavljuje u ZUT i zavaru. Napomenuti učenicima kako najčešće pogreške nastaju zbog nedovoljne edukacije zavarivača koje uzrokuju korozije zavara.

## GLAVNI DIO

Na ploči napisati podjelu s kojom je moguće spriječiti nastanak korozije u zavarenom spoju, reći učenicima da isto zapisuju u svoje bilježnice. Koristeći se podnaslovima navesti glavne nazive i ispod svakog objasniti ukratko što znače i kako ih primijeniti. Na prezentaciji svaki slajd sadrži podnaslov koji opisuje pojedinu metodu te sadrži i opisne slike.

### **1. Pravilnim izborom osnovnog i dodatnog materijala**

Učenicima objasniti kako ova metoda obilježava pravilan odabir topljive elektrode koji može smanjiti razlike sastava zavarenog spoja i osnovnog materijala. Zbog razlika u materijalima može nastati galvanska korozija, a ona se na ovaj način smanjuje.

### **2. Pripremom površine**

Učenicima napisati na ploču da čiste površine metala i čisti žlijebovi zavara smanjuju pojavu grešaka i korozije. Zapisati na ploču i napomenuti učenicima da zapisuju u bilježnicu.

### **3. Projektiranja zavarenog spoja**

Učenike podsjetiti na vrste šavova zavarenih spojeva i na koji način se mogu spajati. Uzimajući to u obzir potrebno je pratiti i projektirani zadatak te zavarivati na način kako je standardizirano. Kako bi se dvije konstrukcije ispravno zavarile, potreban je pravilno projektiran šav zavarenog spoja s kojim bi se troska zadržala na površini zavara i protaljivanje bilo zahtijevano. Učenicima napomenuti kako bi se u nepravilnom spoju cijevi mogle pojaviti turbulencije i erozijska korozija.

### **4. Postupkom zavarivanja**

Napomenuti učenicima kako je potrebno ostvariti potpuni provar u žlijebu zavara kako se ne bi pojavila korozija u procjepu. Ukoliko se zavaruje u više slojeva potrebno je ukloniti trosku prije svakog prolaza.

### **5. Površinskom obradom zavarenog spoja**

Prilikom zavarivanja glatka površina i površina bez nečistoća je najotpornija na nastanak korozije. Učenicima predložiti kako se hrapavost šava zavara smanjuje brušenjem.

## 6. Zaštitom površinske prevlake

Ukoliko je moguća pojava lokalne korozije između osnovnog materijala i zavara, tada se nanosi prevlaka koja prekriva metal šava i osnovni materijal.

## 7. Termičkom obradom

Prisjetiti učenike kako unutarnja zaostala naprezanja utječu na mjesto zavara i konstrukciju. Zapisati da se termičkom obradom često smanjuje unutarnje naprezanje koje uzrokuju napetosnu koroziju. Zapisati da naknadno žarenje zavarenog spoja uklanja vodik iz zavarenih spojeva.

## 8. Predgrijavanjem

Napisati na ploču da se predgrijavanjem osnovnog materijala prilikom zavarivanja smanjuje mogućnost nastanka vodika iz zavara. Napomenuti im kako se na taj način zavar naknadno sporije hladi te vodik uspije izaći iz zavara.

## 9. Uklanjanjem izvora vodika

Napisati na ploču kako izbor topljive elektrode, uklanjanje nečistoća i vlaga na površini utječu na količinu vodika koji ostaje zarobljen unutar zavara.

## ZAVRŠNI DIO

Ponoviti gradivo koje je zapisano na ploči te postaviti pitanje učenicima postoji li nešto da im nije jasno. Na prezentaciji prikazati jedno po jedno pitanje i tražiti kratke odgovore od učenika:

- 1) Opišite zašto je bitan pravilan odabir osnovnog i dodatnog materijala?
- 2) Objasnite kako predgrijavanjem smanjujemo mogućnost nastanka korozije?
- 3) Što utječe na pojavu vodika u zavarenom spoju?
- 4) Kakva mora biti površina koja se zavaruje?
- 5) Što je potrebno napraviti ukoliko se zavaruje u više slojeva?

Najaviti idući nastavni sat vježbi na kojem će vježbati metode kojima se smanjuje mogućnost nastanka korozije.

## Izgled ploče

### Načini izbjegavanja pogrešaka

Sprječavanje nastanka pogrešaka i korozije u zavaru:

**1. Pravilnim izborom osnovnog i dodatnog materijala –**

- a. pravilan odabir topljive elektrode
- b. smanjuje razlike sastava zavarenog spoja i osnovnog materijala.

**2. Pripremom površine**

- a. čiste površine metala, čisti žlijebovi zavara smanjuju pojavu grešaka i korozije.

**3. Projektiranja zavarenog spoja**

- a. potreban je pravilno projektiran šav zavarenog spoja s koji bi se troska zadržala na površini zavara i protaljivanje bilo zahtijevano.
- b. u nepravilnom spoju cijevi moguća pojava turbulencije i erozijska korozija.

**4. Postupkom zavarivanja**

- a. potrebno ostvariti potpuni provar u žlijebu zavara - korozija u procjepu.
- b. za više slojeva potrebno je ukloniti trosku prije svakog prolaza.

**5. Površinskom obradom zavarenog spoja**

- a. glatka i čista površina je najotpornija na nastanak korozije.
- b. hrapavost zavara smanjuje se brušenjem.

**6. Zaštitom površinske prevlake**

- a. kod moguće pojave lokalne korozije između osnovnog materijala i zavara nanosi se prevlaka koja prekriva metal šava i osnovni materijal.

**7. Termičkom obradom**

- a. smanjuju se unutarnja naprezanja koja uzrokuju napetosnu koroziju.
- b. naknadno žarenje zavarenog spoja uklanja vodik iz zavarenih spojeva.

**8. Predgrijavanjem**

- a. predgrijavanjem osnovnog materijala smanjuje se mogućnost nastanka vodika.

**9. Uklanjanjem izvora vodika**

- a. izbor topljive elektrode, uklanjanje nečistoća i vlaga na površini utječu na količinu vodika.



\_\_\_\_\_  
(potpis studenta)

\*Pregledao: \_\_\_\_\_

\*Datum: \_\_\_\_\_

**Osvrt na izvođenje:**

(Sažet kritički osvrt na sadržajnu, stručno – teorijsku, organizacijsko – tehničku i subjektivnu komponentu vođenja nastavnog procesa.)

\*Ocjena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
( Potpis ocjenjivača)

\_\_\_\_\_  
(Datum)

\_\_\_\_\_  
\* Popunjava se ako se obrazac koristi za nastavnu praksu studenata.

## ZAKLJUČAK

Izradom ovog diplomskog rada omogućeno mi je proširenje znanja o tehnologijama zavarivanja kojima ću podučavati učenike. Zavarivanje zahtijeva određeno iskustvo s kojim se stječu određene kompetencije za zavarivanje materijala bez grešaka. Ovim radom htio sam približiti učenicima koji će postati zavarivači ili konstruktori moguće greške u zavarivanju, što se događa sa zavarenim spojem nakon određenog kratkog ili dugoročnog perioda eksploatacije zavarene konstrukcije.

U ovom radu opisani su uzroci otkaza zavarenih konstrukcija nakon zavarivanja. Navedene su vrste pukotina s obzirom na nastanak, odnosno zbog čega nastaju i kolike su opasnosti za konstrukciju ukoliko se ne poštuju određeni propisi i norme. Opisan je mehanizam nastanka zamora materijala i u kojim fazama ih je potrebno raspoznati kako ne bi nastala havarija određene konstrukcije.

Prikazane su slike i navedeni uzroci korozije koja se pojavljuje u metalima u svrhu lakšeg raspoznavanja korozije i izbjegavanja nastanka iste. Uslijed nastanka korozije navedene su metode zaštite i prevencije zavarenih spojeva, metala i konstrukcija.

Za sve nastale otkaze koji se pojavljuju u zavarenim konstrukcijama, općenito gledano, iza svih stoji ljudska pogreška, bilo zbog nedostatka edukacije o provedbi procesa zavarivanja ili radi ne savjesno izrađene slabe konstrukcije, nepoštivanja propisa, korištenja manje kvalitetnih materijala i sl.

## LITERATURA

- [1] Vlastimir Palić, Zavarivanje I-drugo izdanje, Novi Sad 1983.
- [2] Jovičić, R., Erić O., Petronić, S., Zavareni spoj kritično mjesto na opremi pod tlakom, Procesna tehnika, SI, 28(1), 2017, pp. 24-29.
- [3] Jovičić, R.; Popović, O.; Prokić, R.; Cvetković, D.; Milošević, N.: Upravljanje kvalitetom zavarenih konstrukcija pomoću informacijskih tehnologija, In Sinteza 2018 International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, Engineering and Telecommunications Session, Srbija; Sveučilište Singidunum, 01.-02.01.2018., str. 248-252.
- [4] Samardžić, Ivan; Klarić, Štefanija; Kožul, Anto; Despotović, Biljana; Marko, Dunder. Mogući načini i uzroci otkaza zavarenih konstrukcija, Analiza tehnološkičnosti zavarenih konstrukcija: [digitalni udžbenik] URL: <https://old.unisb.hr/kth/zavar/> (20.7.2021)
- [5] Tomašević, Stipe: Dinamička izdržljivost brodskih konstrukcija, (Magistarski rad), Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2003., 234 str.
- [6] Padhy G.K., Komizo Yu-Ichi, Diffusible Hydrogen in Steel Weldment, Osaka University, Osaka, 2013.
- [7] <https://www.esabna.com/us/en/education/blog/porosity-problems-with-5086-5356-alloys.cfm>, preuzeto 20.7.2021.
- [8] I. Juraga, K. Ljubić, M. Tivičić: „Pogreške u zavarenim spojevima“, Zagreb 2007.
- [9] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/manufacturing-ofwelded-joints-with-realistic-defects/>, preuzeto 20.7.2021.
- [10] <https://www.asme.org/>, preuzeto 20.7.2021.
- [11] B. Mijović, Analiza širenja pukotine u strojarskim konstrukcijama, Strojarstvo 51 (1) 79-86 (2009)
- [12] Bore, J; Biljana, B.: Korozijska zavarenih spojeva, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 63(1), 2005, pp. 111-115.
- [13] Bobić, B; Jegdić, B.: Korozijska zavarenih spojeva, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 51(1), 2006, pp. 25-31.

- [14] <https://strojarskaradionica.wordpress.com/2018/07/10/6-vrsta-korozije-na-metalnim-materijalima/>, preuzeto 1.8.2021
- [15] [https://www.corrosionclinic.com/types\\_of\\_corrosion/uniform\\_corrosion.htm](https://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/uniform_corrosion.htm), preuzeto 1.8.2021
- [16] [https://bib.irb.hr/datoteka/843434.KEMIJSKA\\_POSTOJANOST.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/843434.KEMIJSKA_POSTOJANOST.pdf), preuzeto 1.8.2021
- [17] <https://www.fsb.unizg.hr/korozija/>, preuzeto 20.8.2021
- [19] <https://worldhistoryproject.org/1999/1/4/rainbow-bridge-collapse>, preuzeto 20.8.2021
- [20] [https://www.researchgate.net/figure/Collapse-of-a-highway-bridge-during-1995-Hyogoken-Kobe-earthquake\\_fig1\\_233294811](https://www.researchgate.net/figure/Collapse-of-a-highway-bridge-during-1995-Hyogoken-Kobe-earthquake_fig1_233294811), preuzeto 20.8.2021
- [21] <http://www.kvalifikacije.hr/sites/default/files/documents-publications/2018-08/Zakon%20o%20HKO-u%20s%20izmjenama%20i%20dopunama.pdf>, preuzeto 30.8.2021.
- [22] <https://ess.hr/index.php/programi-obrazovanja/strojarstvo/zavarivac>, preuzeto 30.8.2021.
- [23] <https://www.asoo.hr/UserDocsImages/Nastavni%20planovi%20i%20programi%201-9/6/zavarivac.pdf>, preuzeto 30.8.2021.