

# Zaštita od korozije industrijskih postrojenja premazima

---

**Kordić, Nikola**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:236092>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Nikola Kordić

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović

Student:

Nikola Kordić

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojem mentoru, izv. prof. dr. sc. Ivanu Stojanoviću, na nesebičnom dijeljenju znanja, korisnim savjetima te neprestanoj podršci tijekom izrade ovog diplomskog rada i vremena provedenog na studiju. Također, želim se zahvaliti prof. dr. sc. Vesni Alar i docentu dr. sc. Marinu Kurteli na njihovoj susretljivosti, suradnji i pomoći tijekom izrade eksperimentalnog rada.

Zahvaljujem se djelatnicima tvrtke Monter strojarske montaže d.d. na svojoj opremi, prostoru i vremenu izdvojenom za izradu eksperimentalnog rada, osobito dipl. ing. stroj. Tomislavu Kelavi na pruženim savjetima tijekom izrade rada.

Veliko hvala mojoj obitelji, osobito mojim roditeljima, bratu, sestrama i djevojci, čiji su neizmjerni poticaj i podrška bili oslonac tijekom cijelog mog školovanja.

Nikola Kordić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu               |        |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum                               | Prilog |
| Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 01      |        |
| Ur.broj: 15 - 24 -                  |        |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: Nikola Kordić JMBAG: 0035214546

Naslov rada na hrvatskom jeziku: Zaštita od korozije industrijskih postrojenja premazima

Naslov rada na engleskom jeziku: Corrosion protection of industrial plants by coatings

Opis zadatka:

Korozija uzrokuje velike štete na metalnim konstrukcijama i može dovesti do strukturnih oštećenja, gubitka mehaničkih svojstava i prestanka funkcionalnosti, te je stoga važno konstrukciju odgovarajuće zaštititi od korozije. Jedan od najučinkovitijih načina zaštite od korozije je nanošenje premaza na metalne površine, čime se stvara barijera između metala i okoliša i osigurava dugotrajnost rada u eksploataciji. Kod izvođenja zaštite od korozije posebno je važna korektno izvedena priprema površine koja direktno utječe na prionjivost premaza.

U radu je potrebno opisati zaštitu organskim premazima, navesti komponente premaza i istaknuti svojstva pojedinih veziva koje se koriste za zaštitu metalnih konstrukcija u industriji. Obraditi pripremu površine mlazom abraziva, postupke nanošenja premaza i potrebnu opremu za izvođenje zaštite premazima. Opisati tehnologiju zaštite od korozije premazima na primjeru jednog industrijskog postrojenja.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je provesti pripremu površine čeličnih uzoraka na dva načina, nanijeti sustav premaza i provesti laboratorijska korozijska ispitivanja. Ispitati fizikalna svojstva sustava premaza. Napraviti analizu rezultata, osvrnuti se na utjecaj postupka pripreme površine na prionjivost premaza i izvesti zaključak.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

16. studenoga 2023.

Datum predaje rada:

18. siječnja 2024.

Predviđeni datumi obrane:

22. – 26. siječnja 2024.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

# SADRŽAJ

|   |            |
|---|------------|
| <b>SADRŽAJ</b> .....                                      | <b>I</b>   |
| <b>POPIS SLIKA</b> .....                                  | <b>VI</b>  |
| <b>POPIS TABLICA</b> .....                                | <b>IX</b>  |
| <b>POPIS OZNAKA I KRATICA</b> .....                       | <b>X</b>   |
| <b>SAŽETAK</b> .....                                      | <b>XI</b>  |
| <b>SUMMARY</b> .....                                      | <b>XII</b> |
| <b>1. UVOD</b> .....                                      | <b>1</b>   |
| <b>2. KOROZIJA</b> .....                                  | <b>2</b>   |
| <b>3. KLASIFIKACIJA KOROZIJSKIH PROCESA</b> .....         | <b>3</b>   |
| 3.1. PODJELA PREMA MEHANIZMU DJELOVANJA PROCESA .....     | 3          |
| 3.1.1 <i>Kemijska korozija</i> .....                      | 3          |
| 3.1.2 <i>Elektrokemijska korozija</i> .....               | 3          |
| 3.2. PODJELA PREMA GEOMETRIJI KOROZIJSKOG RAZARANJA ..... | 4          |
| 3.2.1 <i>Opća korozija</i> .....                          | 4          |
| 3.2.2 <i>Galvanska korozija</i> .....                     | 5          |
| 3.2.3 <i>Korozija u procijepu</i> .....                   | 6          |
| 3.2.4 <i>Rupičasta korozija</i> .....                     | 7          |
| 3.2.5 <i>Interkristalna korozija</i> .....                | 8          |
| 3.2.6 <i>Erozijska korozija</i> .....                     | 9          |
| 3.2.7 <i>Napetosna korozija</i> .....                     | 10         |
| <b>4. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA MATERIJALA</b> .....          | <b>12</b>  |
| <b>5. ORGANSKI PREMAZI</b> .....                          | <b>13</b>  |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1. NAČIN DJELOVANJA.....                              | 13        |
| 5.1.1. Barijera.....                                    | 13        |
| 5.1.2. Učinak inhibitora.....                           | 14        |
| 5.1.3. Galvanski učinak.....                            | 15        |
| 5.2. PRIONJIVOST PREMAZA.....                           | 16        |
| 5.3. KOMPONENTE ORGANSKIH PREMAZA.....                  | 16        |
| 5.3.1. Pigmenti.....                                    | 17        |
| 5.3.2. Veziva.....                                      | 18        |
| 5.3.2.1. Epoksidna veziva.....                          | 19        |
| 5.3.2.2. Akrilna veziva.....                            | 19        |
| 5.3.2.3. Poliuretanska veziva.....                      | 20        |
| 5.3.2.4. Sušiva ulja.....                               | 20        |
| 5.3.3. Otapala.....                                     | 21        |
| 5.3.4. Aditivi.....                                     | 21        |
| 5.3.5. Punila.....                                      | 22        |
| <b>6. PRIPREMA POVRŠINE .....</b>                       | <b>23</b> |
| 6.1. ODMAŠĆIVANJE POVRŠINE.....                         | 23        |
| 6.2. MEHANIČKO ČIŠĆENJE POVRŠINE.....                   | 24        |
| 6.2.1. Ručno čišćenje.....                              | 24        |
| 6.2.2. Strojno čišćenje.....                            | 25        |
| 6.2.3. Čišćenje vodenim mlazom.....                     | 25        |
| 6.3. KEMIJSKO ČIŠĆENJE POVRŠINE.....                    | 26        |
| <b>7. ČIŠĆENJE MLAZOM ABRAZIVA .....</b>                | <b>27</b> |
| 7.1. SUHI POSTUPAK.....                                 | 28        |
| 7.1.1. Mehaničko čišćenje centrifugalnim postupkom..... | 28        |

|   |           |
|---|-----------|
| 7.1.2. Pjeskarenje komprimiranim zrakom ..... | 29        |
| 7.1.2.1. Direktna metoda .....                | 29        |
| 7.1.2.2. Metoda usisnog sifona .....          | 30        |
| 7.1.2.3. Gravitacijski dovod abraziva .....   | 31        |
| 7.2 MOKRI POSTUPAK.....                       | 32        |
| 7.3. Stupanj pripreme površine .....          | 34        |
| <b>8. ABRAZIVNI MATERIJAL .....</b>           | <b>35</b> |
| 8.1. KVARCNI PIJESAK.....                     | 35        |
| 8.2 ČELIČNA SAČMA .....                       | 36        |
| 8.2.1. SAČMARENJE.....                        | 38        |
| 8.3. KORUND.....                              | 39        |
| 8.4 GARNET.....                               | 41        |
| 8.5. SODA BIKARBONA .....                     | 42        |
| <b>7. KOMPONENTE PREMAZA .....</b>            | <b>43</b> |
| <b>8. UVJETI NANOŠENJA PREMAZA .....</b>      | <b>44</b> |
| <b>9. ODABIR SUSTAVA PREMAZA .....</b>        | <b>45</b> |
| 9.1. KOROZIVNOST OKOLIŠA .....                | 45        |
| 9.2. VRSTA ZAŠTIĆIVANE POVRŠINE.....          | 46        |
| 9.3. TRAJNOST SUSTAVA .....                   | 47        |
| <b>10. NANOŠENJE PREMAZA .....</b>            | <b>48</b> |
| 10.1. NANOŠENJE PREMAZA PRSKANJEM .....       | 48        |
| 10.1.1. Zračno prskanje .....                 | 48        |
| 10.1.2. Bezračno prskanje.....                | 49        |
| 10.2. RUČNO NANOŠENJE PREMAZA .....           | 51        |



---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>11. SUŠENJE PREMAZA.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>12. TEHNOLOGIJA ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE PREMAZIMA NA PRIMJERU<br/>INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA .....</b> | <b>53</b> |
| 12.1. UPUTE O PROIZVODU .....  | 54        |
| 12.2. PROPISI I NORME.....   | 54        |
| 12.3. IZVOĐENJE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE .....  | 55        |
| 12.3.1. Priprema površine.....   | 55        |
| 12.3.2. Prevlačenje površine .....   | 56        |
| 12.4. ZAŠTITNI SUSTAV .....  | 58        |
| 12.5. KONTROLA KVALITETE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE.....  | 58        |
| 12.6. IZVOĐENJE POPRAVAKA .....  | 58        |
| 12.6.1. Priprema površine.....   | 59        |
| 12.6.2. Nanošenje premaza .....  | 59        |
| 12.7. ZAŠTITA NA RADU .....  | 59        |
| <b>13. EKSPERIMENTALNI DIO .....</b>   | <b>60</b> |
| 13.1. PRIPREMA POVRŠINE .....  | 60        |
| 13.3. MJERENJE DEBLJINE SUHOG FILMA.....   | 65        |
| 13.4. HRAPAVOST POVRŠINE.....  | 68        |
| 13.4.1. Mjerenje hrapavosti uređajem „Elcometer 224“.....  | 68        |
| 13.4.2. Mjerenje hrapavosti uređajem s pomičnim ticalom.....   | 70        |
| 13.5. MJERENJE TVRDOĆE PREMAZA .....   | 72        |
| 13.6. ISPITIVANJE U VLAŽNOJ KOMORI .....   | 74        |
| 13.7. ISPITIVANJE U SLANOJ KOMORI .....  | 78        |
| 13.8. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI UREZIVANJEM MREŽICE .....   | 83        |
| 13.9. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI VLAČNOM METODOM.....  | 86        |

---

|   |           |
|---|-----------|
| 13.10. ELEKTROKEMIJSKA IMPEDANCIJSKA SPEKTROSKOPIJA ..... | 90        |
| <b>14. ZAKLJUČAK.....</b>                                 | <b>96</b> |
| <b>15. LITERATURA .....</b>                               | <b>97</b> |

**POPIS SLIKA**

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Slika 1.  | Opća korozija [6] .....                                   | 4  |
| Slika 2.  | Galvanska korozija [7] .....                              | 5  |
| Slika 3.  | Korozija u procijepu [9] .....                            | 6  |
| Slika 4.  | Rupičasta korozija [9] .....                              | 8  |
| Slika 5.  | Interkristalna korozija [9] .....                         | 9  |
| Slika 6.  | Erozijska korozija [17] .....                             | 10 |
| Slika 7.  | Napetosna korozija [9] .....                              | 11 |
| Slika 8.  | Djelovanje barijere [8].....                              | 14 |
| Slika 9.  | Inhibirajući učinak [8].....                              | 15 |
| Slika 10. | Galvanski učinak [8] .....                                | 16 |
| Slika 11. | Komponente organskih premaza.....                         | 16 |
| Slika 12. | Formula epoksidne smole [21] .....                        | 19 |
| Slika 13. | Čišćenje površine četkom [26] .....                       | 24 |
| Slika 14. | Čišćenje površine rotacijskom četkom [26] .....           | 25 |
| Slika 15. | Priprema površine visokotlačnim vodenim mlazom [26] ..... | 26 |
| Slika 16. | Priprema površine mlazom abraziva [29].....               | 27 |
| Slika 17. | Oprema za centrifugalni postupak [30].....                | 28 |
| Slika 18. | Oprema za pjeskarenje komprimiranim zrakom [30] .....     | 30 |
| Slika 19. | Metoda usisnog sifona [30] .....                          | 31 |
| Slika 20. | Gravitacijski dovod abraziva [30].....                    | 32 |
| Slika 21. | Oprema za mokri postupak pjeskarenja [34] .....           | 33 |
| Slika 22. | Kvarcni pijesak [37] .....                                | 35 |
| Slika 23. | Lomljena sačma [38].....                                  | 36 |
| Slika 24. | Okrugla sačma [39] .....                                  | 37 |
| Slika 25. | Postrojenje za sačmarenje [41] .....                      | 38 |
| Slika 26. | Smeđi korund [42] .....                                   | 39 |
| Slika 27. | Bijeli korund [43].....                                   | 40 |
| Slika 28. | Garnet .....  | 41 |
| Slika 29. | Soda bikarbona [46] .....                                 | 42 |
| Slika 30. | Zaštitni sustav .....                                     | 43 |
| Slika 31. | Kontaktni termometar .....                                | 44 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Slika 32. | Pištolj za zračno prskanje [48].....  | 48 |
| Slika 33. | Cijevni elementi .....  | 49 |
| Slika 34. | Uređaj za bezračno prskanje [51].....   | 50 |
| Slika 35. | Ručno premazivanje površine [52] .....  | 51 |
| Slika 36. | Industrijsko postrojenje - separator zraka.....   | 53 |
| Slika 37. | Cijevni elementi premazani u lakirnici .....  | 57 |
| Slika 38. | Oslonci premazani temeljnim slojem .....  | 57 |
| Slika 39. | Uređaj za pjeskarenje .....   | 61 |
| Slika 40. | Pjeskarena površina.....  | 61 |
| Slika 41. | Sačmarilica .....   | 62 |
| Slika 42. | Sačmarena površina .....  | 62 |
| Slika 43. | Zaštitni premazi Hempadur Avantguard 750 (lijevo) i Hempthane Topcoat 55210<br>(desno)  | 63 |
| Slika 44. | Uređaj za zračno prskanje.....  | 64 |
| Slika 45. | Premazani uzorci.....   | 65 |
| Slika 46. | Mjerenje debljine premaza .....   | 66 |
| Slika 47. | Uređaj za mjerenje debljine stijenke .....  | 66 |
| Slika 48. | Graf srednjih vrijednosti debljine premaza .....  | 68 |
| Slika 49. | Mjerenje hrapavosti uređajem „Elcometer 224“.....   | 69 |
| Slika 50. | Mjerenje hrapavosti uređajem s pomičnim ticalom .....   | 70 |
| Slika 51. | Parametri hrapavosti.....   | 71 |
| Slika 52. | Graf usporedbe hrapavosti površine.....   | 72 |
| Slika 53. | Mjerenje tvrdoće premaza uz pomoć uređaja „PosiTector“ .....  | 73 |
| Slika 54. | Grafički prikaz srednjih vrijednosti tvrdoća.....   | 74 |
| Slika 55. | Vlažna komora „Humidity Cabinet Model AB6“, Fakultet strojarstva i brodogradnje,<br>Laboratorij za zaštitu materijala .....       | 75 |
| Slika 56. | Uzorci postavljeni u vlažnoj komori .....   | 76 |
| Slika 57. | Slana komora „DongGuan HongTuo Instrument Co.,Ltd“ Fakultet strojarstva i<br>brodogradnje, Laboratorij za zaštitu materijala..... | 78 |
| Slika 58. | Priprema uzoraka .....  | 79 |
| Slika 59. | Uzorci postavljeni unutar slane komore .....  | 80 |
| Slika 60. | Etalon za urezivanje ureza .....  | 83 |
| Slika 61. | Elcometer 506.....  | 87 |
| Slika 62. | Postupak ispitivanja prionjivosti vlačnom metodom .....   | 87 |

---

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Slika 63. | Graf usporednih srednjih vrijednosti prionjivosti za pjeskarene i sačmarene površine<br>89 |    |
| Slika 64  | Skala otpora premaza [53].....   | 90 |
| Slika 65. | VersaSTAT 3 uređaj.....  | 91 |
| Slika 66. | Aparatura za mjerenje .....  | 92 |
| Slika 67. | Ekvivalenti električni krug za ispitivane uzorke.....                                      | 93 |

## POPIS TABLICA

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tablica 1.  | Stupnjevi pripreme površine.....  | 34 |
| Tablica 2.  | Svojstva čelične sačme.....   | 37 |
| Tablica 3.  | Svojstva smeđeg korunda.....  | 40 |
| Tablica 4.  | Svojstva garneta.....   | 42 |
| Tablica 5.  | Kategorije korozivnosti.....  | 46 |
| Tablica 6.  | Kategorije trajnosti sustava.....   | 47 |
| Tablica 7.  | Rezultati mjerenja.....   | 67 |
| Tablica 8.  | Rezultati mjerenja hrapavosti na pjeskarenim uzorcima.....                        | 69 |
| Tablica 9.  | Rezultati mjerenja hrapavosti na sačmarenim uzorcima.....                         | 69 |
| Tablica 10. | Rezultati mjerenja na pjeskarenim uzorcima.....                                   | 71 |
| Tablica 11. | Rezultati mjerenja na sačmarenim uzorcima.....                                    | 71 |
| Tablica 12. | Rezultati izmjerene tvrdoće.....  | 73 |
| Tablica 13. | Usporedni prikaz uzoraka nakon izlaganja u vlažnoj komori.....                    | 77 |
| Tablica 14. | Usporedni prikaz pjeskarenih uzoraka prije i nakon izlaganja u slanoj komori..... | 81 |
| Tablica 15. | Usporedni prikaz sačmarenih uzoraka prije i nakon izlaganja u slanoj komori.....  | 82 |
| Tablica 16. | Tablica za ocijenu prionjivosti.....  | 84 |
| Tablica 17. | Ocjena prionjivosti premaza na uzorcima izloženima u slanoj komori.....           | 85 |
| Tablica 18. | Ocjena prionjivosti premaza na uzorcima izloženima u vlažnoj komori.....          | 86 |
| Tablica 19. | Rezultati ispitivanja na uzorcima iz slane komore.....                            | 88 |
| Tablica 20. | Rezultati ispitivanja na uzorcima iz vlažne komore.....                           | 89 |
| Tablica 21. | Parametri mjerenja.....   | 91 |
| Tablica 22. | Rezultati metode otvorenog strujnog kruga.....                                    | 92 |
| Tablica 23. | Dijagrami za sačmarenim uzorak.....   | 93 |
| Tablica 24. | Dijagrami za pjeskareni uzorak.....   | 94 |
| Tablica 25. | Rezultati impedancije za sačmaren uzorak.....                                     | 95 |
| Tablica 26. | Rezultati impedancije za pjeskareni uzorak.....                                   | 95 |

## POPIS OZNAKA I KRATICA

| Kratika        | Opis   | Mjerna jedinica |
|----------------|--|-----------------|
| ISO            | <i>International organization for standardization</i><br>– Međunarodna organizacija za standardizaciju | /               |
| UV             | Ultraljubičasto (eng. <i>Ultraviolet</i> )   | /               |
| DSF            | Debljina suhog filma   | /               |
| EIS            | Elektrokemijska impedancijska spektroskopija   | /               |
| AC             | Izmjenična struja  | /               |
| DC             | Istosmjerna struja   | /               |
| F              | Sila   | [N]             |
| E              | Potencijal   | [V]             |
| Z              | Impedancija  | [ $\Omega$ ]    |
| R              | Otpor  | [ $\Omega$ ]    |
| C              | Kapacitet kondenzatora   | [F]             |
| R <sub>1</sub> | Otpor elektrolita  | [ $\Omega$ ]    |
| R <sub>2</sub> | Otpor premaza  | [ $\Omega$ ]    |
| R <sub>3</sub> | Otpor osnovnog metala  | [ $\Omega$ ]    |
| C <sub>1</sub> | Kapacitet dvosloja   | [F]             |
| C <sub>2</sub> | Kapacitet premaza  | [F]             |

## **SAŽETAK**

Ovaj diplomski rad podijeljen je na teorijski i eksperimentalni dio. U teorijskom dijelu detaljno je opisana zaštita metalnih konstrukcija upotrebom organskih premaza. Fokusirajući se na komponente premaza, istaknuta su svojstva različitih veziva koja se koriste u industriji za zaštitu od korozije. Posebna pažnja posvećena je pripremi površine mlazom abraziva, postupcima nanošenja premaza te potrebnoj opremi za izvođenje zaštite premazima. Dalje, detaljno je opisana tehnologija zaštite od korozije premazima na primjeru konstrukcije i cjevovoda unutar industrijskog postrojenja. Konkretno, prikazana je tehnologija antikorozivne zaštite organskim premazima kroz projekt separatora zraka, izveden od strane tvrtke Monter Strojarske montaže d.d.. Eksperimentalni dio ovog istraživanja obuhvatio je pripremu površine čeličnih uzoraka na dva različita načina, primjenu sustava premaza te provedbu laboratorijskih korozijskih ispitivanja. Također, provedena su ispitivanja fizikalnih svojstava sustava premaza. Na samom kraju, analizirani su rezultati istraživanja s posebnim osvrtom na utjecaj postupka pripreme površine na prionjivost premaza.

Ključne riječi: korozija, zaštita od korozije, organski premazi, priprema površine, pjeskarenje, sačmarenje, prionjivost premaza



## **SUMMARY**

This thesis is divided into a theoretical and an experimental part. In the theoretical part, the protection of metal structures using organic coatings is described in detail. Focusing on coating components, the properties of various binders used in industry for corrosion protection are highlighted. Special attention is paid to the preparation of the surface with abrasive blasting, coating application procedures and the necessary equipment for performing coating protection. Next, the corrosion protection technology with coatings is described in detail on the example of construction and pipelines within an industrial plant. In particular, the technology of anti-corrosion protection with organic coatings through the air separator project, carried out by the company *Monter strojarske montaže d.d.* was presented. The experimental part of this research included the preparation of the surface of steel samples in two different ways, the application of the coating system and the implementation of laboratory corrosion tests. Also, tests of the physical properties of the coating system were conducted. The research results were analyzed with special reference to the influence of the surface preparation process on the adhesion of the coating.

Key words: corrosion, corrosion protection, organic coatings, surface preparation, sandblasting, shot blasting, coating adhesion

## **1. UVOD**

Korozija predstavlja ozbiljan problem koji može uzrokovati velike štete na metalnim površinama. Osim što uzrokuje estetske nedostatke, može dovesti do strukturnih oštećenja, smanjenja mehaničkih svojstava metala te do potpunog gubitka funkcionalnosti. Iz tog razloga, važnost antikorozivne zaštite ne može se prenaglasiti. Nanošenje premaza na metalne površine predstavlja jedan od najučinkovitijih načina zaštite od korozije. Ovi premazi stvaraju zaštitnu barijeru između metala i okoliša, djelujući kao štit koji sprječava izravni kontakt metalne površine s agresivnim vanjskim faktorima. Ova barijera ne samo što sprječava koroziju već i produžuje životni vijek metala, održavajući njegove strukturalne i funkcionalne karakteristike. Važno je naglasiti da je proces nanošenja premaza na metalne površine pristup koji se široko koristi zbog svoje praktičnosti i efikasnosti u zaštiti metala od korozije. Ovi premazi se primjenjuju u različitim industrijama, od automobilske do građevinske, pružajući pouzdanu zaštitu te se često kombiniraju s drugim metodama kako bi se osigurala kompletna zaštita materijala od korozije.

## **2. KOROZIJA**

Korozijski procesi su prirodni fenomeni s kojima se svakodnevno susrećemo, a koji dovode do pretvaranja metala njegovom degradacijom u nekorisne i često štetne spojeve. Korozija je spontani proces koji se odvija između metala i komponenata okoline, pri čemu metali prelaze u termodinamički stabilnije stanje. Najučestaliji materijal koji se koristi u izradi raznih konstrukcija je čelik, stoga je važno dobro razumjeti njegovo ponašanje pod korozivnim uvjetima i provoditi odgovarajuću antikorozivnu zaštitu. Korozija čelika ima znatan ekonomski utjecaj koji raste s razvojem industrije. Korozija ima izrazito nepovoljan utjecaj na uporabnu vrijednost čelika, skraćuje vijek trajanja industrijske opreme i drugih proizvoda, povećava troškove održavanja, uzrokuje gubitke u proizvodnji kao i havarije i nesreće, prekide u radu te smanjuje proizvodne kapacitete korozivno zahvaćene opreme. Također, negativno utječe na kvalitetu proizvoda. Sve to rezultira ogromnim gubicima za pojedina poduzeća, industrijske sektore i gospodarstvo u cjelini. Točnu procjenu štete uzrokovane korozijom na čeličnim konstrukcijama nije moguće odrediti, budući da osim izravnih šteta koje uključuju zamjenu korodirane opreme, održavanje i provedbu zaštite, postoje i brojne neizravne štete. Neizravni troškovi povezani su smanjenjem vrijednosti proizvodnje, što dovodi do manjih prihoda. Količina materijala potrebnog za konstrukciju stalno se povećava, dok se istovremeno pogoršavaju korozivni uvjeti zbog primjene visokih temperatura, tlakova i naprezanja, velikih brzina i agresivnih kemikalija u naprednim tehnološkim procesima. [1, 2]

### **3. KLASIFIKACIJA KOROZIJSKIH PROCESA**

Klasifikacija korozivskih procesa obuhvaća podjelu na dva dijela: prema mehanizmu djelovanja korozije i prema obliku korozije. Korozija može utjecati kako na metalne, tako i na nemetalne konstrukcijske materijale, stoga se koristi i podjela na koroziju metala i koroziju nemetala. Budući da su metali najčešće korišteni materijali u industriji strojarških konstrukcija, potrebno je posebno obratiti pozornost na njihovo korozivsko ponašanje. Kada je riječ o mehanizmu korozije metala, razlikujemo kemijsku i elektrokemijsku koroziju. S obzirom na geometriju korozivskog razaranja, moguće je identificirati opću, galvansku, koroziju u procijepu, rupičastu, interkristalnu, erozijsku i napetosnu koroziju. [2]

#### **3.1. PODJELA PREMA MEHANIZMU DJELOVANJA PROCESA**

##### **3.1.1 Kemijska korozija**

Do nastanka kemijske korozije metala dolazi u neelektrolitima, odnosno u medijima koji ne provode električnu struju. U takvim uvjetima nastaju spojevi metala s nemetalnim elementima, najčešće oksidima i sulfidima. Vrući plinovi i organske tekućine su neelektroliti koji u najvećoj mjeri uzrokuju kemijsku koroziju metala i nemetala. Kemijska korozija metala rezultat je reakcije atoma metala iz kristalne rešetke s molekulama elementa iz okoline. Taj proces direktno rezultira stvaranjem korozivskih spojeva poput hrđe. Primjerice, ovo je vrlo često vidljivo na ventilima i ispušnim cijevima na brodovima. [2, 3]

##### **3.1.2. Elektrokemijska korozija**

Elektrokemijska korozija metala javlja se u elektrolitima, odnosno u medijima s ionskom vodljivošću. To je proces redoks reakcije u kojem dolazi do oksidacije atoma metala odnosno donora elektrona i istovremene redukcije oksidansa, poznatog kao depolarizator, koji prima elektrone. Kada postoji razlika u elektropotencijalu između dvaju kratkospojenih galvanskih elemenata, kao što su različiti metali u elektrolitu ili prisutnost različitih nehomogenosti u strukturi, tada dolazi do elektrokemijskog procesa. Elektrokemijska korozija se javlja u prirodnoj i tehničkoj vodi, vodenim

otopinama kiselina, lužina, soli i drugih tvari, vlažnom tlu, sokovima biološkog porijekla, talinama soli, oksida i hidroksida te u atmosferi. Elektrokemijska korozija ima široku rasprostranjenost zbog velikog broja metalnih konstrukcija i postrojenja koja su izložena vodi ili otopinama, vlažnom tlu ili vlažnoj atmosferi. Osobito povoljni uvjeti za razvoj elektrokemijske korozije prisutni su u metalurškim postrojenjima ali i u kemijskoj, prehrambenoj, tekstilnoj i metaloprerađivačkoj industriji. [3, 4]

## **3.2. PODJELA PREMA GEOMETRIJI KOROZIJSKOG RAZARANJA**

### **3.2.1 Opća korozija**

Jedan od najuobičajenijih i najrasprostranjenijih oblika korozije je opća korozija, koja karakterizira jednolično oštećivanje ili zahvaćanje cijele površine metala izloženog agresivnom okruženju. Opća korozija uzrokuje značajan gubitak materijala, a brzina prodiranja korozije izražava se u mm/god. Međutim, opća korozija može biti predvidljiva i inženjeri pri projektiranju konstrukcija mogu poduzeti mjere kako bi izbjegli katastrofalne probleme uzrokovane njome. Opća korozija može djelovati na površini ravnomjerno ili neravnomjerno. Ravnomjerni oblik opće korozije tehnički je manje opasan jer je proces razaranja lako predvidljiv. S druge strane, neravnomjerna opća korozija puno je opasnija zbog svoje nepredvidljivosti jer dubina prodora u materijal ne pruža pravi uvid u postojanost konstrukcije. Na slici 1 prikazan je primjer postrojenja na kojem je došlo do pojave općeg oblika korozije. [1, 5]



**Slika 1. Opća korozija [6]**

### 3.2.2. Galvanska korozija

Galvanska korozija se javlja u elektrolitu kada se spoje dva ili više materijala različitih potencijala, što rezultira korozijom materijala s nižim električnim potencijalom. Kada se dva metala različitih elektrodnih potencijala spoje u elektrolitu, formira se galvanski članak, s anodom koju čini elektronegativniji metal te katodom koju čini elektropozitivniji metal. Razlike u potencijalu stvaraju tok električne struje od anode prema katodi i uzrokuju oksidaciju anode. Međutim, galvanska korozija nije samo rezultat razlike u elektrodnom potencijalu; njena pojava i intenzitet također ovise o drugim čimbenicima kao što su omjer površina katode i anode, temperatura, protok fluida, sastav i vodljivost elektrolita itd. Općenito, neplemenitiji metal bi trebao imati veću površinu kontakta kako bi se smanjila gustoća korozijske struje. Vijci i zavari koji mogu djelovati kao anoda na ostatak konstrukcije smatraju se izuzetno opasnim u vidu korozije. Na slici 2 prikazan je primjer galvanske korozije zbog kontakta podloške i vijka izrađenih od materijala s različitim električnim potencijalom. [7, 8]



Slika 2. Galvanska korozija [7]

### 3.2.3. Korozija u procijepu

Korozija u procijepu je čest problem koji se javlja na nehrđajućim čelicima. Ovaj oblik korozije nastaje unutar pukotina, procijepa ili razmaka između površina, a često je rezultat zadržavanja korozijskog medija unutar tih pukotina, čak i ako je okolna površina uglavnom suha. Kada strojni dio cijelom površinom bude izložen otopini, uvjeti unutar pukotine se mijenjaju zbog elektrokemijske reakcije te dolazi do povećanja kiselosti otopine i povećanja koncentracije agresivnih tvari. Unutarnji dio procijepa ponaša se tada kao anoda, a na vanjskom dijelu procijepa odvija se katodna reakcija. Korozija u procijepu ima slične karakteristike kao rupičasta korozija, ali čelici s većim udjelima kroma i molibdena pokazuju znatno veću otpornost na ovaj oblik korozije. Najčešći uzrok ovog oblika korozije povezan je s oblikovanjem konstrukcije i tehnologijom izrade. Loša konstrukcijsko-tehnološka rješenja često su glavni krivac za nastanak korozije u procijepu. Kako bi se smanjila sklonost koroziji u procijepu, važno je izbjegavati uske procjepe prilikom konstruiranja, sprečavati nakupljanje naslaga, primjenjivati katodnu zaštitu, izbjegavati stagnaciju medija te osiguravati adekvatnu drenažu. Kada je riječ o korozijskoj postojanosti zavarenih spojeva, prednost se daje kontinuiranim i pravilno protaljenim sučeljenim zavarenim spojevima u odnosu na isprekidane i preklopne spojeve. Ovim pristupom može se poboljšati otpornost na koroziju i produžiti životni vijek konstrukcije. Na slici 3 prikazan je primjer korozije u procijepu na čeličnoj cijevi ispod izolacije. [10,11]



Slika 3. Korozija u procijepu [9]

### 3.2.4. Rupičasta korozija

Rupičasta korozija, poznata i kao pitting, predstavlja oštećenje metala koje se manifestira kroz rupičaste šupljine koje prodiru u metal od površine. Ovaj oblik korozije nastaje u slučaju velike katodne površine u odnosu na malu anodnu površinu, što rezultira intenzivnim napadom anode. Rupičasta korozija je vrlo opasan oblik korozije, a brzina njenog napredovanja obično se povećava s porastom temperature. Procjena stanja površine obuhvaća analizu gustoće, veličine i dubine rupica. Rupičasta korozija jedan je od najopasnijih oblika korozije zbog svoje nepredvidljivosti. Rupice koje se formiraju na površini često su prekrivene slojem korozijskih produkata koji ne pružaju adekvatnu zaštitu metalne podloge od daljnje korozije. Stoga rupičasta korozija često ostaje neotkrivena sve dok ne dođe do perforacije materijala. Prisutnost kloridnih iona u vodenim otopinama predstavlja specifičan agresivni čimbenik koji često rezultira rupičastom korozijom na određenim materijalima. Sličan negativan učinak imaju i ostali halogenidni ioni poput bromidnih (Br-) i fluoridnih (F-), koji pridonose razaranju pasivnog filma. Važno je napomenuti da kloridi, koji su odgovorni za lokalizirane procese razaranja, zapravo predstavljaju anione jakih kiselina, dok mnogi metalni kationi pokazuju značajnu topivost u kloridnim otopinama. Treba također istaknuti da su kloridi relativno mali anioni s visokom sposobnošću difuzije, što otežava proces pasivacije. Ova vrsta korozije se smatra autokatalitičkim procesom, što znači da kada se rupica jednom formira i pokrene korozijski proces, to rezultira značajnim promjenama u mediju unutar rupice, gdje dolazi do iscrpljivanja katodnih reaktanata (poput otopljenog kisika) i obogaćenja metalnim kationima i kloridima zbog čega dolazi do značajnog pada pH vrijednosti unutar rupice. Stoga, stvoreni kloridni medij postaje vrlo agresivan, sprječava repasivaciju i potiče daljnje širenje rupice. Na slici 4 prikazana je površina na kojoj je vidljiv utjecaj rupičaste korozije. Važno je istaknuti da su ovi opisani mehanizmi karakteristični za rupičastu koroziju uzrokovanu kloridima te da ova vrsta korozije zahtijeva posebne mjere prevencije i kontrolu kako bi se očuvala dugovječnost materijala. [10, 12]





Slika 4. Rupičasta korozija [9]

### 3.2.5. Interkristalna korozija

Interkristalna (intergranularna) korozija oblik je korozije koji se širi uzduž granica metalnog zrna u dubinu što predstavlja opasnost jer dolazi do smanjenja kohezijskih sila među zrnima što smanjuje vlačnu čvrstoću materijala. Interkristalna korozija vrlo brzo dovodi do smanjenja čvrstoće materijala pa se lom ili čak raspad metala u prah može pojaviti bez upozorenja. Uzrok pojave ovog oblika korozije je stvaranje galvanskog spoja na granicama zrna usred senzibilizacije čelika. Interkristalna korozija smatra se jednim od najopasnijih oblika korozije jer može dugo ostati neprimjećena obzirom da obično golim okom nije vidljiva, a naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala. U određenim uvjetima postoji mogućnost vezanja ugljika s kromom rezultirajući formiranjem kromovih karbida ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ). Ovi kromovi karbidi nastaju u temperaturnom rasponu između  $450^\circ\text{C}$  i  $850^\circ\text{C}$ , uglavnom na granicama zrna. Na nižim temperaturama atomi ugljika nisu dovoljno pokretljivi da bi se spojili s atomima kroma, dok na višim temperaturama kromovi karbidi ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) ne nastaju ili, ako su već prisutni, počinju se rastvarati. Formiranje kromovih karbida najčešće se događa na granicama zrna. Ova pojava naziva se senzibilizacija čelika, a javlja se kada mala količina ugljika veže relativno veliku količinu kroma, što rezultira smanjenjem udjela kroma na granicama zrna. Ako udio kroma u željeznoj matrici padne ispod 12% u tom području može doći do pojave interkristalne korozije. Čelici postaju skloniji ovom obliku korozije ako je postotak ugljika previsok, ako je brzina ohlađivanja

preniska, ako se nalaze u kiseloj otopini kao što je solna kiselina, dušična kiselina ili sumporna kiselina. Senzibilizaciju čelika moguće je spriječiti korištenjem stabilizirane grupe nehrđajućih čelika koji od legirnih elemenata imaju titan ili niobij, odabirom grupe čelika sa smanjenim udjelom ugljika („L“ grupe nehrđajućih čelika) jer se time značajno povećava potrebno vrijeme da bi došlo do senzibilizacije. Senzibilizirani čelik je moguće vratiti u prvobitno stanje kratkotrajnim žarenjem na visokim temperaturama (iznad 1050°C) i naglim hlađenjem. Isto se može postići i dugotrajnim žarenjem na nižim temperaturama (850 do 950°C). Na slici 5 prikazan je primjer raspada materijala uz zavar uslijed interkristalne korozije. Ta pojava naziva se i „weld decay“. [14, 15]



Slika 5. Interkristalna korozija [9]

### 3.2.6. Erozijska korozija

Erozijska korozija je složeni oblik korozije koji nastaje kada metal dolazi u kontakt s mehaničkom abrazijom i istovremeno korozivnom atmosferom. Ova vrsta korozije može se javiti i kada tekućine ili plinovi prolaze kroz cijevi visokom brzinom stvarajući unutar nje vrtlog. Kada fluid miruje ili teče sporije pojava korozije obično nije toliko izražena, međutim, brzo kretanje fluida fizički erodira zaštitni sloj metala, otkrivajući metal i uzrokujući oštećenja. Prisutnost pijeska ili taloga dodatno pojačava eroziju i ubrzava koroziju kao i mehanički udarci koji oštećuju ili troše zaštitni sloj metala.

Metali niske čvrstoće, kod kojih je korozijska zaštita ovisna o površinskom sloju, posebno su podložni erozijskoj koroziji. Napad obično slijedi smjer fluida i turbulencije oko površinskih nepravilnosti. Uvođenje legirajućih elemenata kao što su aluminij i nikal, koji stvaraju čvršće i bolje prijanjajuće slojeve, može ojačati otpornost na erozijsku koroziju. Ovaj oblik korozije vrlo često rezultat je loše konstrukcijske izvedbe. Neujednačeni zavari i izbočine u cijevima vrlo često mogu izazvati prepreke protoku fluida, što s vremenom dovodi do erozije materijala. Važno je naglasiti da su uvjeti i mehanizmi erozijske korozije specifični za svaku situaciju. Stoga, pravilno projektiranje, odabir materijala i primjena preventivnih mjera ključni su za minimiziranje pojave erozijske korozije i očuvanje postojanosti materijala. Najčešći pojavni oblici erozijske korozije su kavitacijska korozija i trošenje. Kavitacijska korozija nastaje na mjestima velike brzine protoka fluida uslijed kojeg dolazi do pada tlaka i nastajanja mjehurića koji implodiraju i oštećuju sloj metala dok je trošenje erozijski oblik korozije koji nastaje u plinovitim fazama. Na slici 6 prikazano je erozijsko oštećenje rotora mjedene pumpe. [16]



Slika 6. Erozijska korozija [17]

### 3.2.7. Napetosna korozija

Napetosna korozija oblik je korozije koji se javlja kada rastu pukotine uslijed djelovanja statičkih i dinamičkih vlačnih naprezanja u prisutnosti agresivne okoline. Vlačna naprezanja mogu nastati uslijed zaostalih naprezanja izazvanih procesima poput zavarivanja, ali mogu biti i nametnuta izvana. Pukotine koje nastaju zbog napetosne korozije šire se okomito na smjer vlačnih naprezanja šireći se interkristalno ili transkristalno. Da bi se javila napetosna korozija potrebna su tri uvjeta: prisutnost

agresivne okoline ili medija, legura koja je osjetljiva na koroziju te prisutnost vlačnih naprezanja. Napetosna korozija javlja se kod austenitnih i martenzitnih nehrđajućih čelika, ali i kod drugih tehničkih materijala kao što su polimeri, keramika i staklo. Sulfidna napetosna korozija posebno je opasna za ugljične i niskolegirane čelike. Ona se javlja kada je napregnuta konstrukcija u dodiru sa sumporovodikom. Čelici s visokom čvrstoćom i tvrdoćom posebno su osjetljivi na sulfidnu napetosnu koroziju. Baš kao i interkristalna korozija, napetosna korozija također se smatra jednim od najopasnijih oblika jer može dugo ostati neprimijećena, a rezultira smanjenjem čvrstoće, duktilnosti te kasnije i lomom konstrukcije, a sve to uz malo smanjenje mase. Smanjenje vlačnih naprezanja može se postići primjenom toplinske obrade, korištenjem inhibitora, primjenom katodne zaštite i drugim metodama. Slika 8 prikazuje izgled površine materijala napadnute napetosnom korozijom. [8, 18]



**Slika 7. Napetosna korozija [9]**

## **4. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA MATERIJALA**

Kako bi nastupila pojava korozije, a time i oštećenja čeličnih konstrukcija, nužno je prisustvo kemijskih, mehaničkih, bioloških ili drugih poticajnih sila unutar sustava. Primjenom različitih tehnologija zaštite dolazi do povećanja otpora navedenim silama i usporavanja korozivnih procesa i zbog toga se velika pažnja usmjerava pravovremenoj i kvalitetnoj zaštiti od korozije. Istraživanja su pokazala kako se četvrtina ukupnih korozivnih šteta može spriječiti pravovremenom primjenom zaštitnih tehnologija. Uz nisku cijenu od konstrukcijskih materijala traži se da posjeduju izvrsna mehanička svojstva i dobru obradivost te da su istovremeno korozivno otporni. No, osim primjene nehrđajućih čelika i niklovi legura, za koje je karakteristična dobra korozivna otpornost, rijetko koji konstrukcijski materijal može zadovoljiti ta svojstva u stvarnim uvjetima. Iz tog razloga nužna je primjena antikorozivne zaštite. Najčešća metoda za zaštitu od korozije je korištenje organskih premaza koji stvaraju zaštitni sloj na metalnoj površini, sprečavajući kontakt metala s vlagom i kisikom te smanjujući rizik od korozije. U nastavku rada pobliže će se opisati zaštita materijala organskim premazima.

## 5. ORGANSKI PREMAZI

Zaštita metalnih površina organskim premazima predstavlja jedan od najčešćih pristupa u industriji. Gotovo tri četvrtine svih metalnih površina zaštićeno je ovim premazima. Sve prevlake koje stvaraju zaštitni sloj koristeći organske tvari za formiranje zaštitne barijere smatraju se organskim premazima. Takvi slojevi postižu se nanošenjem organskih premaza poput boja i lakova, uobičajenih metoda poput plastifikacije, primjenom gumenih obloga (gumiranjem) ili bitumenizacijom. Organski premazi djeluju kao barijere protiv korozije između osnovnog metala i okoliša sklonog koroziji. Oni održavaju trajnost konstrukcija, pružaju otpornost na vremenske uvjete, vlagu i abraziju te osiguravaju zahtijevani estetski izgled. Učinkovitost organskih premaza ovisi o mehaničkim svojstvima sustava premaza, vrsti i koncentraciji inhibitora, načinu pripreme površine, prionjivosti premaza na osnovni metal te drugim dodacima koji sprječavaju koroziju podloge. Organski premazi sastavljeni su od pet komponenti: veziva, otapala, pigmenta, punila i aditiva. Navedene komponente formiraju homogeni premaz koji sprječava pucanje i raspad strukture tijekom naprezanja. Zaštitni premazi trebaju imati nisku propusnost, dobru stabilnost protiv korozije i postojani izgled tijekom dužeg vremenskog razdoblja kako bi opravdali troškove. [8, 19, 20]

### 5.1. NAČIN DJELOVANJA

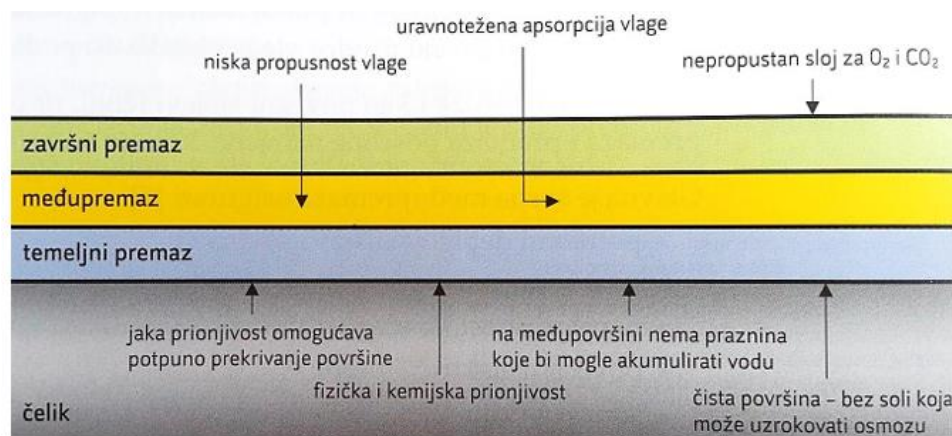
Korozija metalnih dijelova događa se putem elektrokemijskih reakcija na površini koje uključuju oksidaciju metala u prisutnosti vode, elektrolita i kisika. Većina metala, osim takozvanih plemenitih metala, najstabilnija je u obliku oksida na većinu okolišnih uvjeta. Premazi se često koriste kao zaštitni sloj preko metalne podloge kako bi spriječili oksidaciju podloge na način koji bi bio štetan za funkciju i izgled objekta.

#### 5.1.1. Učinak barijera

Učinak barijere postiže se primjenom debelih premaza; od 250 do 500 mikrometara s vrlo niskom propusnošću za vodu i kisik. Formirana barijera zadržava nabijene ione te usporava prodor vode i kisika prema površini metala. Međutim, važno je napomenuti da iako djeluju kao barijere, premazi nisu potpuno nepropusni za ove spojeve. Ključno svojstvo ovakvih premaza nije samo debljina, već i njihova interakcija s metalnom podlogom. Ako premaz dobro prijanja na površinu metala i formira

homogeni sloj, ima veću sposobnost odbijanja vode i sprječavanja prodora kisika. Pigmenti unutar ovih premaza također igraju bitnu ulogu u stvaranju barijere. Oni mogu blokirati difuziju vode i kisika ispod kritične koncentracije volumena pigmenta. Povećanje koncentracije pigmenta unapređuje barijerne osobine premaza, no ako se kritična koncentracija premaši može doći do stvaranja šupljina koje omogućuju lakši prodor vode do površine metala i gubitak barijernih svojstava premaza. Iako premazi pružaju zaštitu, nije isključeno da propuštaju određene količine vode i kisika. Ipak, njihova sposobnost da uspore prodor ovih spojeva ključna je za zaštitu metala, posebno u uvjetima gdje je metal izložen vodi ili vlazi. Za materijale poput čelika, osjetljivih na koroziju, učinak barijere predstavlja ključnu mehanizam zaštitnog djelovanja premaza. Na slici 8 opisan je učinak barijere.

[8, 19]



Slika 8. Djelovanje barijere [8]

### 5.1.2. Učinak inhibitora

Premazi mogu djelovati na način da oslobađaju inhibitorni materijal koji pasivizira podlogu ili blokira korozivne reakcije. To su obično premazi koji sadrže inhibirajuće pigmente poput kromata, fosfata ili molibdata. Premazi poput ovih zaštitit će oštećena područja premaza zaustavljajući korozivne reakcije na lokalnim područjima površine izloženih fizičkim oštećenjima. Neki premazi koriste topljive organske inhibitore, ali oni se previše brzo ispuštaju kako bi pružili dugotrajnu zaštitu te se iz tog razloga vrlo brzo troše. Za razliku od stvaranja inertnog i potpuno nepropusnog filma koji se postiže kroz barijerni učinak neki od inhibirajućih pigmentata, kao što je cink-kromat, imaju sklonost reagirati s vodom. Drugim riječima, oni privlače vodu u premaz, što može rezultirati stvaranjem mjehurića i prijevremenim propadanjem premaza na konstrukcijama koje su izložene uranjanju. Prikaz inhibirajućeg učinka zaštitnog premaza prikazan je na slici 9. [8, 19]

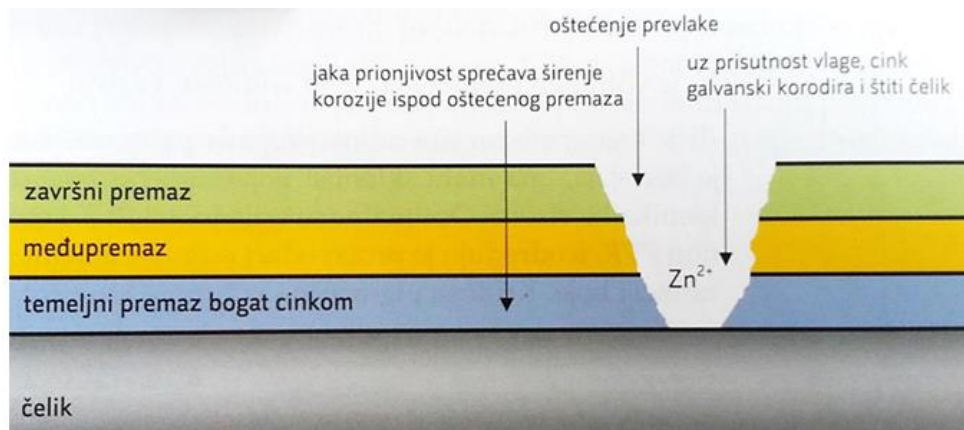


Slika 9. Inhibirajući učinak [8]

### 5.1.3. Galvanski učinak

Čelik koji je uronjen u elektrolit može biti zaštićen žrtvenim anodama montiranim na strukturu. Međutim, ovo neće funkcionirati u atmosferi jer nema elektrolitičkog kontakta između anode i čelika. Kako bi se prevladala ta ograničenja, žrtveni materijal mora biti nanesen na čelik u premazu koji je u električnom kontaktu s čeličnom površinom u potpunosti. Postoji nekoliko načina primjene žrtvenog metala na čeličnoj površini, a najvažniji su postupci vrućeg pocinčavanja, toplinskog prskanja i elektroplatiranja (galvanizacije). Katodna zaštita premazivanjem postiže se s premazima bogatim cinkom gdje cinkov pigment djeluje kao žrtvena anoda, korodirajući u odnosu na čeličnu podlogu. Da bi cink pružio katodnu zaštitu mora biti u električnom kontaktu s čeličnom podlogom, što znači da premaz bogat cinkom mora biti prvi sloj koji je nanesen na podlogu (temeljni premaz). Navedeni premazi iz tog razloga nazivaju se premazi bogati cinkom. Sastojci veziva u premazima bogatim cinkom temelje se na organskim polimerima (epoksidi ili silikati). Katodna zaštita postignuta navedenim mehanizmom djelovanja prikazana je na slici 10. [8, 19]





Slika 10. Galvanski učinak [8]

## 5.2. PRIONJIVOST PREMAZA

Uloga prionjivosti je stvaranje potrebnih uvjeta kako bi zaštitni mehanizmi premaza mogli djelovati. Premaz ne može stabilizirati zaštitni oksid ili spriječiti ione da dosegnu metalnu površinu, osim ako nije u neposrednom kontaktu s površinom metala. Što je veći broj kemijskih veza između površine i premaza jača je adhezija odnosno manji broj mjesta dostupnih za elektrokemijske procese. Dobra prionjivost premaza na podlozi može se opisati kao nužan, ali ne i dostatan uvjet za dobru zaštitu od korozije. Za sve mehanizme zaštite opisane u prethodnim dijelovima, povoljna prionjivost premaza na metalu nužan je uvjet. Međutim, ona sama po sebi nije dovoljna jer ne jamči potpunu kontrolu korozije. [19]

## 5.3. KOMPONENTE ORGANSKIH PREMAZA

Organski premazi sastoje se od različitih komponenata prikazani su na slici 11:



Slika 11. Komponente organskih premaza

Vezivo i pigment smatraju se najvažnijim elementima jer obavljaju posao zaštite od korozije u očvrnutom premazu. Često se koristi kombinacija polimera, čak i ako premaz pripada jednom općem tipu. Na primjer, akrilni premaz može biti sastavljen od nekoliko akrila izvedenih iz različitih monomera. Polimerni spojevi koriste se radi posebnih karakteristika svakog polimera; na primjer, metakrilat s izvrsnom tvrdoćom i čvrstoćom trebao bi se kombinirati s mekšim poliakrilom kako bi osigurao određenu fleksibilnost čvrstog premaza. Antikorozivni pigmenti kemijski su aktivni u očvrnutom premazu, dok pigmenti u barijnim premazima moraju biti inertni. Punila moraju biti inertna u svakom trenutku. Aditivi mogu mijenjati određene karakteristike veziva, pigmenta ili otapala kako bi poboljšali kompatibilnost ili nanošenje i očvršćivanje premaza.

Otapala, također poznata kao razrjeđivači, organski su spojevi koji služe za otapanje veziva u premazima čime olakšavaju nanošenje. Bitno je napomenuti da kemijski sastav otapala obično ostaje nepromijenjen tijekom procesa otapanja veziva. [8, 21]

### 5.3.1. Pigmenti

U skladu s prihvaćenim standardima, pigmenti su tvari koje se sastoje od sitnih čestica gotovo netopljivih u primijenjenom mediju te se koriste za bojanje, zaštitna ili magnetska svojstva. Antikorozivni pigmenti moraju imati određenu topljivost kako bi pokazali kemijsku ili elektrokemijsku aktivnost. Međutim, ukoliko se ponašanje topljivosti antikorozivnog pigmenta ne prilagodi pravilno, to može dovesti do osmotskih učinaka i stvaranja mjehurića, što rezultira propadanjem antikorozivnih svojstava boje.

Antikorozivni pigmenti snažno utječu na svojstva zaštitnih premaza na nekoliko načina [8, 21]:

- povećavaju trajnosti sustava premaza
- smanjuju brzine korozije
- katodno i/ili anodno pasiviraju metalne površine.

Anorganski antikorozivni pigmenti mogu se klasificirati prema načinu djelovanja na sljedeći način [8, 21]:

- aktivni pigmenti (kemijski/elektrokemijski)
- inertni pigmenti (barijerni)
- žrtvovani pigmenti (elektrokemijski/fizički).

Često se optimalna zaštita postiže kombinacijom različito aktivnih pigmentata. Aktivni pigmenti pokazuju određenu kontroliranu topljivost koja rezultira kemijskom i/ili elektrokemijskom aktivnošću. Pasivacija metalne podloge može se postići pomoću pigmentata koji pokazuju snažni oksidirajući potencijal poput kromata ili nitrita. To su pigmenti aktivni u katodnom području jer ograničavaju anodni proces potrošnjom slobodnih elektrona koji se oslobađaju kada metal na anodi prelazi u otopinu. Pigmenti koji inhibiraju proces korozije poticanjem rasta adhezivnog pasivnog sloja na metalnoj površini smatraju se pigmentima aktivnim u anodnom području.

Barijerni pigmenti poput kemijski inertnog aluminijskog oksida ili pigmentata željezova oksida lamelarne strukture (MIO) također se smatraju sposobnima smanjiti propusnost vode kroz slojeve premaza upravo zbog svoje laminarne ili pločaste strukture. Ti se pigmenti nalaze slojevito unutar premaza i tako povećavaju difuzijski put za vodu, kisik i ione koji potiču koroziju. Također, povećavaju adheziju između metalne površine i premaza.

Premazi bogati cinkom primjer su galvanskih pigmentata. Oni sadrže visoke koncentracije cinkovog praha, pri čemu je uobičajeno da cinkom bogati premazi sadrže više od 90% cinka u vezivu kako bi se osigurao optimalan kontakt cinkovih čestica s površinom čelika. Sam cink djeluje kao žrtvena anoda ako je njegov elektrodni potencijal negativniji metala koji se štiti. U tom slučaju, cink postaje žrtvena anoda i prelazi u otopinu, dok podloga djeluje kao katoda. Cijeli proces naziva se katodni mehanizam zaštite. U praksi, samo cinkov prah ili listići imaju ekonomsku važnost kao žrtveni pigmenti. Elektrokemijska učinkovitost premaza bogatih cinkom nije vječna zbog korozivnih produkata koji se formiraju na sučeljima čestica. [21]

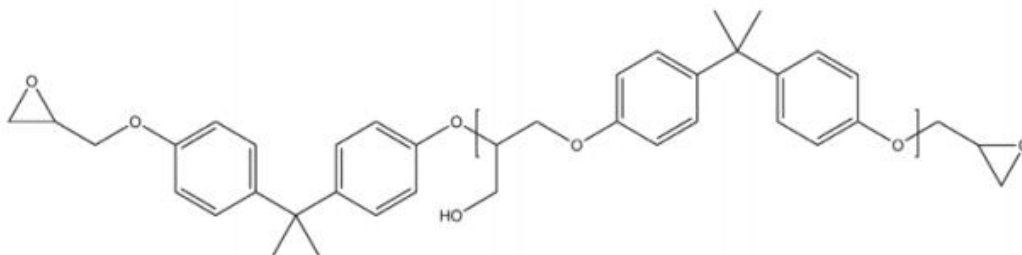
### 5.3.2. Veziva

Veziva unutar premaza predstavljaju osnovnu strukturu koja povezuje sve ostale komponente premaza. Sastoje se od organskih polimera čija je uloga stvaranje fizičke barijere, pružajući zaštitu površini od vanjskih elemenata. Ova faza formira fizičku barijeru unutar svakog premaza, ključnu za zaštitu podloge. Vezivo, u suštini, određuje kemijsku i UV otpornost te propusnost svakog premaza. Mnoge neisparljive organske tvari u obliku viskoznih kapljevina ili smola koriste se kao veziva za boje i lakove. Često se kombiniraju različite vrste veziva unutar istog premaza kako bi se postigla specifična svojstva, čak i ako premaz pripada jedinstvenoj vrsti polimera. Postoji širok raspon komercijalno dostupnih akrila koji se kemijski razlikuju po svojim karakteristikama, poput funkcionalnih skupina i početnih monomera. Vrsta polimera ima ključnu ulogu u sposobnosti apsorpcije UV zračenja. Primjerice, akrili su otporni na većinu UV svjetla, dok su epoksidi izrazito

osjetljivi na isto. Veziva koja se koriste u antikorozivnim bojama isključivo su organski polimeri. Fizička i mehanička svojstva premaza, kao što su fleksibilnost, tvrdoća, kemijska otpornost, osjetljivost na UV zračenje te prijenos vode i kisika, u potpunosti ili djelomično ovise o odabranom polimeru ili kombinaciji polimera. Sušiva ulja, dobivena iz sjemenki lana ili drveća, otporna su na atmosferske uvjete, ali su osjetljiva na visoke temperature i agresivne otopine. S druge strane, nezasićene poliesterske smole otporne su na atmosferske i vodene uvjete, ali nisu adekvatne u lužnatim okruženjima. Veziva predstavljaju ključnu komponentu premaza, definirajući strukturu i karakteristike. Kombinacija različitih vrsta i karakteristika veziva omogućuje prilagodbu premaza različitim zahtjevima i okruženju, pružajući uravnoteženu zaštitu i karakteristike premaznog sustava. U sljedećem dijelu detaljnije će se opisati neka od navedenih veziva. [ 3, 21]

### 5.3.2.1. Epoksidna veziva

Epoksidi su vrsta polimera koji sadrže epoksidne skupine. Zbog svojih povoljnih svojstava, epoksidi se smatraju najvažnijim vezivima. Polimeri epoksidnih smola pokazuju izuzetno dobra svojstva barijere, odličnu prionjivost na podlogu te vrlo dobra mehanička svojstva. Uz to, epoksidi su otporni na utjecaj vode, kisele i lužnate okoline kao i na atmosferske utjecaje. Iako epoksidne smole pokazuju slabost u pogledu stabilnosti na svjetlo, često izraženu kroz snažno kredanje, promjenu boje, gubitak sjaja i boje, ta propadanja uglavnom se odvijaju na površini filma, ne utječući na zaštitna svojstva premaza. Na slici 12 prikazana je formula epoksidne smole. [ 3, 21]



Slika 12. Formula epoksidne smole [21]

### 5.3.2.2. Akrilna veziva

Akrili su opći naziv za veliku i raznoliku skupinu polimera koji proizlaze iz derivata akrilne ili metakrilne kiseline, estera navedenih kiselina i akrilnitrila te su općenito prozirne, istovremeno pokazujući izuzetnu stabilnost starenja. Akrilna veziva mogu biti termoplastična ili duromerna. Karakteristike ovog tipa polimera uključuju izvrsnu UV stabilnost i dobra mehanička svojstva,

osobito čvrstoću. Njihova iznimna otpornost na UV zračenje čini akrile posebno pogodnima za primjene u kojima je zadržavanje prozirnosti i boje bitno. Akrilna veziva nisu otporna na temperature iznad 70°C, ali su zato vrlo stabilna u vodi te u razrijeđenim kiselinama i lužinama. Za razliku od termoplastičnih veziva, duromerna veziva imaju višu tvrdoću ali su nešto manje otporni na djelovanje kiselina i lužina. [3, 8, 22]

#### *5.3.2.3. Poliuretanska veziva*

Poliuretani imaju izvrsnu otpornost na vodu, dobru otpornost na kiseline i otapala te bolju otpornost na lužine u usporedbi s većinom drugih polimera. Pokazuju dobru otpornost na abraziju i općenito posjeduju dobra mehanička svojstva. Nastaju reakcijama izocijanata obično s hidroksilnim skupinama, amino skupinama ili vodom. Razlikuju se poliuretani pripremljeni od aromatskog i od alifatskog izocijanata. Aromatski poliuretani se brže stvrdnjavaju zbog veće kemijske reaktivnosti poliizocijanata, imaju veću otpornost na kemikalije i otapala te su jeftiniji od alifatskih, ali su osjetljiviji na UV zračenje. Obzirom na navedeno, uglavnom se koriste kao temeljni premazi ili srednji slojevi u kombinaciji sa završnim premazima koji pružaju zaštitu od UV zračenja. Alifatski poliuretani imaju veću otpornost na UV zračenje od aromatskih poliuretana, što rezultira dužim sjajem i dužem zadržavanju boje. Za vanjske primjene u kojima je potrebna dobra otpornost na vremenske uvjete preferiraju se alifatski premazi. U smjesama aromatskih i alifatskih poliuretana čak i male količine aromatske komponente mogu značajno utjecati na zadržavanje sjaja. [3, 8, 22]

#### *5.3.2.4. Sušiva ulja*

Sušiva ulja predstavljaju jedno od najstarijih veziva koje se temelje na esterima glicerola i masnih kiselina. Proizvode se iz lanenog ulja ili određenih vrsta tropskog drveća, poput tungovog ulja. Njihov proces sušenja i otvrdnjavanja potaknut je oksidativnom polimerizacijom koja se javlja zbog prisutnosti kisika iz zraka. Kako bi se proces sušenja ubrzao, ponekad se dodaju male količine katalizatora, poznatih kao sikativi, u obliku kobalta, mangana ili olova. Primjenjivi su na raznim podlogama poput metala i drva te pružaju visoku otpornost na atmosferske uvjete, zadržavajući stabilnost unatoč promjenama temperature i vlažnosti. Ipak, nisu otporni na visoke temperature te mogu biti osjetljivi na određene tekućine, osobito lužnate otopine i organska otapala, posebno ako su izloženi dužem vremenu u njima. [1, 3]

### 5.3.3. Otapala

Otapala su ključni sastojci u premazima, oblikovani kao hlapive organske tvari koje otapaju veziva bez prouzročenja kemijskih promjena. Ključna svrha im je postizanje specifične viskoznosti premaza, olakšavajući njihovo nanošenje na različite materijale. Takva otapala često su niske viskoznosti i sastoje se od različitih organskih spojeva, uključujući alifatske, aromatske i klorirane ugljikovodike, alkohole, ketone i estere. Ti spojevi često se koriste i kao sredstva za razrjeđivanje, dodajući se prema potrebama kako bi prilagodili viskoznost prije nanošenja premaza. Hlapljenjem otapala u zraku nastaju pare koje mogu biti štetne za ljudsko zdravlje te su vrlo zapaljive što stvara rizik od potencijalnih eksplozija. Iz tog razloga stvara se težnja i usklađenost s EU direktivama s ciljem zamjene takvih premaza onima koji imaju veći udio suhe tvari (manje otapala). Uz to, sve se više potiče zamjena konvencionalnih boja koje se temelje na standardnim otapalima s bojama koje se razrjeđuju vodom. Ovo predstavlja značajan pomak prema sigurnijim i ekološki prihvatljivijim rješenjima u industriji premaza. [8, 23]

### 5.3.4. Aditivi

Aditivi su važni sastojci u formulaciji premaza. Iako se koriste u malim količinama, imaju vrlo velik utjecaj na krajnja svojstva premaza. Njihova vrijednost proizlazi iz sposobnosti prevencije ili minimizacije nedostataka koje mogu nastati tijekom procesa nanošenja, sušenja ili samog životnog vijeka premaza. Uvodeći aditive u formulaciju premaza, glavni cilj je izbjeći nepravilnosti kao što su stvaranje pjene, problemi s razlivanjem po površini, taloženje itd. Ti problemi mogu ozbiljno narušiti kvalitetu premaza i estetski izgled završne površine. Nadalje, aditivi imaju sposobnost pružanja specifičnih svojstava premazima koja se inače mogu teško postići, kao što su poboljšana otpornost na abraziju ili poboljšana adhezija na različitim podlogama. Prilikom korištenja aditiva, vrlo je važna precizna kontrola njihove koncentracije. Povećanje koncentracije aditiva može dovesti do neželjenih nuspojava poput promjene fizikalnih svojstava premaza, smanjenja otpornosti ili čak neujednačenog sušenja. Iz tog razloga, pravilno doziranje aditiva igra ključnu ulogu u postizanju željenih svojstava premaza bez narušavanja konačne kvalitete. [8, 24]

### **5.3.5 Punila**

Punila su nezaobilazni sastojci organskih premaza. To su anorganski bijeli ili blago obojeni materijali koji imaju značajan utjecaj na strukturu i kvalitetu premaza tijekom cijelog procesa: od nanošenja do sušenja. Kemijska kompozicija punila obuhvaća širok spektar tvari poput sulfata, karbonata, oksida i silikata. Ove tvari unaprjeđuju svojstva premaza; povećavaju mazivosti, poboljšavaju otpornosti na trošenje, vodonepropusnost te pružaju zaštitu od štetnih plinova. Njihova prisutnost unutar premaza fizikalno i kemijski unaprjeđuje svojstva premaza, čineći ih prilagodljivijima različitim uvjetima primjene. [3, 8]

## 6. PRIPREMA POVRŠINE

Priprema površine predstavlja kritičan korak u postupku primjene antikorozivne zaštite. Ona obuhvaća kompleksan niz aktivnosti s ciljem uklanjanja nečistoća, masnoća, korozivnih produkata i ostalih elemenata koji bi mogli ometati trajnu vezu premaza s površinom. Osim estetskog aspekta, ova faza čišćenja ima ključnu ulogu u osiguravanju visoke adhezije premaza na površinu, direktno utječući na trajnost i otpornost samog premaznog sustava.

Istraživanja su pokazala da do čak 85% degradacije premaznog sustava može proizići iz nedostatne pripreme površine. Stoga, pravilno izvedena priprema površine značajno doprinosi produženju vijeka trajanja premaza. Ova faza nije samo korak koji vodi prema estetski zadovoljavajućem izgledu proizvoda, već ključan čimbenik koji određuje otpornost premaza na vanjske utjecaje poput korozije, abrazije i ostalih štetnih elemenata.

Ovisno o tehnologiji antikorozivne zaštite koja se primjenjuje na obradku, ali i o trenutnom stanju površine, razlikuje se nekoliko postupaka pripreme površine [1, 8]:

1. odmašćivanje površine
2. mehanički postupci pripreme površine
3. kemijski postupci pripreme površine.

### 6.1. ODMAŠĆIVANJE POVRŠINE

Za odmašćivanje čeličnih površina često se koriste razrjeđivači organskih premaza ili otapala poput benzina, petroleja ili trikloretilena. Ova otapala se koriste zbog svoje sposobnosti fizičkog otapanja masnoća i nečistoća. Međutim, imaju nedostatke poput slabe topljivosti u vodi što otežava odmašćivanje mokrih površina te mogućnosti zapaljenja i negativnog utjecaja na okoliš zbog hlapljenja njihovih para. Uz navedeno, odmašćivanje se može vršiti uranjanjem obradaka do 10 minuta u lužnate otopine ili prskanjem njihovih površina do 3 minute. U praksi se često primjenjuju i druge metode poput odmašćivanja plamenom, ultrazvučnog odmašćivanja te odmašćivanja pomoću mlaza vodene pare. [8, 25]



## 6.2. MEHANIČKO ČIŠĆENJE POVRŠINE

Mehaničko čišćenje površine podijeljeno je na nekoliko metoda: ručno čišćenje koje uključuje korištenje alata poput četki ili stugala, strojno čišćenje gdje se koriste uređaji poput brusilica ili rotacijskih četki, čišćenje vodenim mlazom koje koristi visokotlačnu vodu za uklanjanje nečistoća te čišćenje površine mlazom abraziva koje će biti opisano u posebnom poglavlju ovog rada, a gdje se uz pomoć visokog tlaka koristi abrazivni materijal za pripremu površine.

### 6.2.1. Ručno čišćenje

Ručno čišćenje površine, prikazano na slici 13 predstavlja metodu uklanjanja nečistoća poput boje, hrđe ili kamenca koji slabo prijanjaju na površinu na specifičnim manjim područjima. Za ovaj postupak koriste se ručni alati kao što su četke, dljetla ili čekići. Ručno čišćenje često se integrira kao početni korak u pripremi površine, posebice tamo gdje su potrebna detaljna uklanjanja nečistoća prije primjene drugih, efikasnijih metoda čišćenja.



Slika 13. Čišćenje površine četkom [26]

### 6.2.2. Strojno čišćenje

Strojno čišćenje površine predstavlja metodu koja se oslanja na električne ili pneumatske alate kako bi se postigla veća produktivnost u usporedbi s ručnim postupcima. Uporabom rotacijskih četki omogućuje se učinkovito uklanjanje strugotina, troske te sličnih oštećenja s površine, dok se brusilice koriste za uklanjanje kapljica nastalih zavarivanjem i sličnih nečistoća, ali i za oblikovanje površine, najčešće zaobljavanje njezinih rubova. Na slici 14 prikazan je postupak pripreme površine rotacijskom četkom. [8]



Slika 14. Čišćenje površine rotacijskom četkom [26]

### 6.2.3. Čišćenje vodenim mlazom

Čišćenje površine vodenim mlazom je metoda koja se oslanja na visokotlačnu vodu za uklanjanje nečistoća, boje ili ostataka s površine materijala. Značajna prednost ove metode je ekološka prihvatljivost zbog korištenja vode kao osnovnog sredstva za čišćenje. Obzirom na tlak koji se primjenjuje, razlikuje se niskotlačno čišćenje (do 34 MPa), visokotlačno čišćenje (od 34 do 70 MPa), čišćenje mlazom vode pod visokim tlakom (od 30 do 170 MPa) te čišćenje mlazom vode pod vrlo visokim tlakom (više od 170 MPa). Ograničenje postupka čišćenja vodenim mlazom je nemogućnost postizanja većeg profila hrapavosti koji je jedan od nužnih parametara za prionjivost premaza. Na slici 15 prikazan je postupak visokotlačnog vodenog čišćenja površine. [8, 27]



Slika 15. Priprema površine visokotlačnim vodenim mlazom [26]

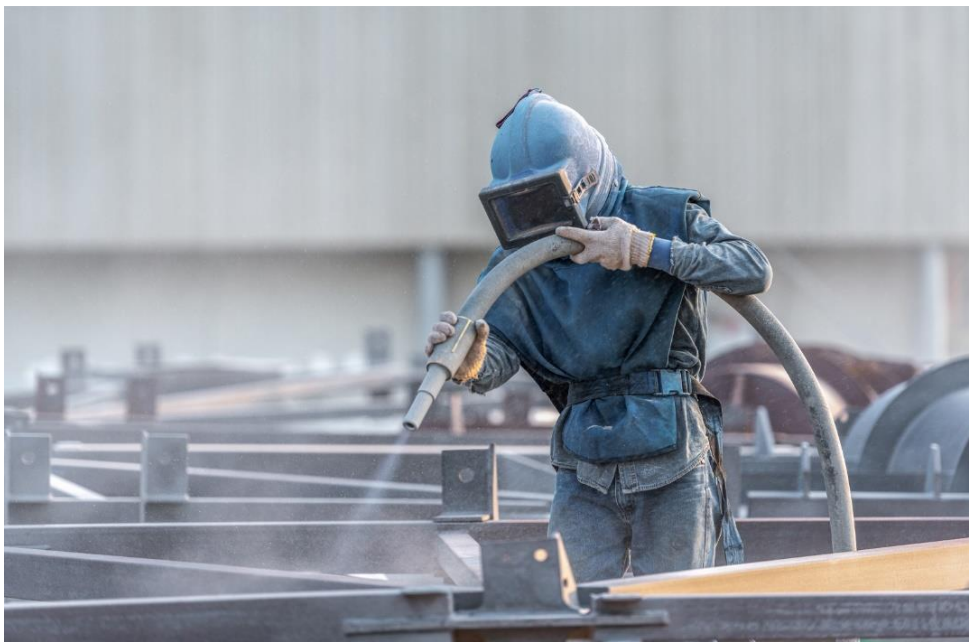
### 6.3. KEMIJSKO ČIŠĆENJE POVRŠINE

Kemijska priprema površine koristi različite kemijske tvari ili otopine za uklanjanje nečistoća i pripremu površine za premazivanje. Ove tvari reagiraju s površinom, uklanjajući masnoće, koroziju ili druge nečistoće, često pružajući bolju adheziju premaza.

Najznačajniji postupak kemijskog čišćenja površine je kiselinskim nagrivanjem (dekapiranjem). Za navedeni postupak najčešće se upotrebljava do 20% - tna sumporna kiselina ili klorovodična kiselina, no negativni utjecaj ove metode očituje se u reagiranju navedenih kiselina s površinom osnovnog materijala uzrokujući njeno trošenje. Kako bi se smanjio utjecaj kiselina na površinu, koriste se inhibitori korozije koji se dodaju kiselinama. Za pripremu aluminijske površine koristi se postupak lužnatog dekapiranja sa otopinom natrijeva hidroksida u kratkom vremenu kako ne bi došlo do oštećenja površine osnovnog materijala. [3,8]

## 7. ČIŠĆENJE MLAZOM ABRAZIVA

Čišćenje površine mlazom abraziva je proces koji se koristi za temeljito uklanjanje nečistoća s površina materijala putem direktnog udara abrazivnih čestica. Ovaj postupak, koji uključuje visokotlačni mlaz zraka ili tekućine kao nosač abraziva, ima ključnu ulogu u pripremi i oblikovanju površine različitih materijala. Osnovni princip čišćenja mlazom abraziva je isporuka abrazivnih čestica visokom brzinom prema površini koju je potrebno očistiti. Trenje i kinetička energija koja nastaje pri udaru abraziva rezultiraju uklanjanjem nečistoća poput boje, hrđe ili drugih ostataka s površine. Tijekom ovog postupka kontroliraju se parametri poput brzine mlaza, veličine abrazivnih čestica i udaljenosti između mlaza i površine materijala. Prikaz pripreme površine mlazom abraziva dan je na slici 16. [28]



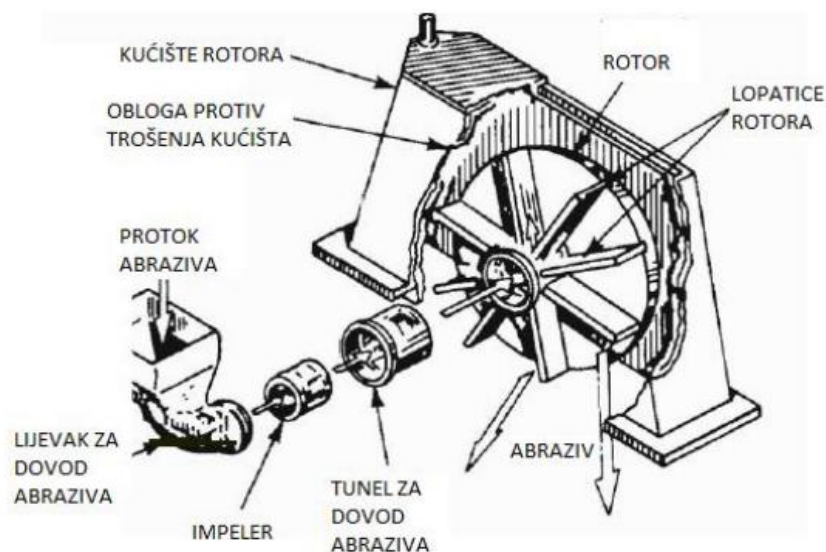
Slika 16. Priprema površine mlazom abraziva [29]

Obrada abrazivnim mlazom smatra se vrlo ekonomičnim procesom. Brži je od procesa elektrokemijskog čišćenja ili ručne pripreme površine, a abrazivni mediji najčešće se mogu reciklirati za daljnju upotrebu. Osim toga, ulaganje u opremu ne utječe značajno na promjene u modelima uređaja, operativne postupke ili izobrazbu osoblja. Metode primjene abrazivnog čišćenja mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: suhi postupak čišćenja mlazom abraziva te mokri postupak čišćenja mlazom abraziva. Kod suhog čišćenja ističu se dva glavna načina: mehaničko čišćenje centrifugalnim postupkom i čišćenje pod tlakom zraka. [28]

## 7.1. SUHI POSTUPAK

### 7.1.1. Mehaničko čišćenje centrifugalnim postupkom

Uređaje za ovaj postupak čišćenja površine moguće je pronaći u različitim verzijama poput uređaja koji se primjenjuju za pojedinačne serije, poluautomatske uređaje i potpuno automatske uređaje. U kabini za pjskarenje najčešće se nalazi jedan ili više mlaznih turbina koji usmjeravaju abrazivne čestice prema radnom komadu pomoću centrifugalne sile. Položaj turbine, prikazan na slici 17, postavljen je na način da osigurava maksimalno pokrivanje površine i visoku učinkovitost mlaza abraziva, uzimajući u obzir i dizajn radnog komada. Abraziv, obično pročišćen zrakom pohranjen je u spremniku koji se nalazi iznad turbine. Pod utjecajem gravitacijske sile on teče iz spremnika do lijevka za punjenje i ventila koji kontrolira protok abraziva prema turbini. Rotor (impeler) zatim prenosi centrifugalnu silu na abraziv, koji se zatim usmjerava kroz kontrolni prohodnik. Uloga prohodnika je definiranje smjera i oblika mlaza abraziva koji djeluje na radni komad. [28]



Slika 17. Oprema za centrifugalni postupak [30]

Rotor turbine smješten je unutar kućišta s ciljem da se spriječi ispuštanja abraziva u svim smjerovima, odnosno kako bi mlaz abraziva ciljao smjer obradka. Budući da su ovi uređaji izloženi znatnom trošenju, posebice komponente rotor i unutarnji dijelovi uređaja, u mnogim slučajevima izrađeni su od visoko legiranog lijevanog željeza koji je otporan na trošenje te dizajnirani kako bi se vrlo jednostavno mogli zamijeniti.

Uobičajena brzina abraziva (oko 76 m/s) i količina abraziva omogućuju ovim mehaničkim sustavima visoku razinu kapaciteta rada po jedinici vremena. Kao rezultat toga, oprema ovoga tipa za mehaničko čišćenje abrazivnim mlazom najčešće je usmjerena kod proizvodnje srednjeg do visokog intenziteta. Ovakva oprema često se koristi za čišćenje čeličnih traka, automobilskih koljenastih vratila, osovina, blokova motora i kućišta stražnjih osovina. Mehaničko čišćenje površine centrifugalnim postupkom pokazalo se neizostavnim u mnogim industrijama zbog svoje visoke učinkovitosti i sposobnosti obrađivanja raznolikih materijala, pružajući temelj za daljnju obradu i upotrebu u različitim aplikacijama. [28]

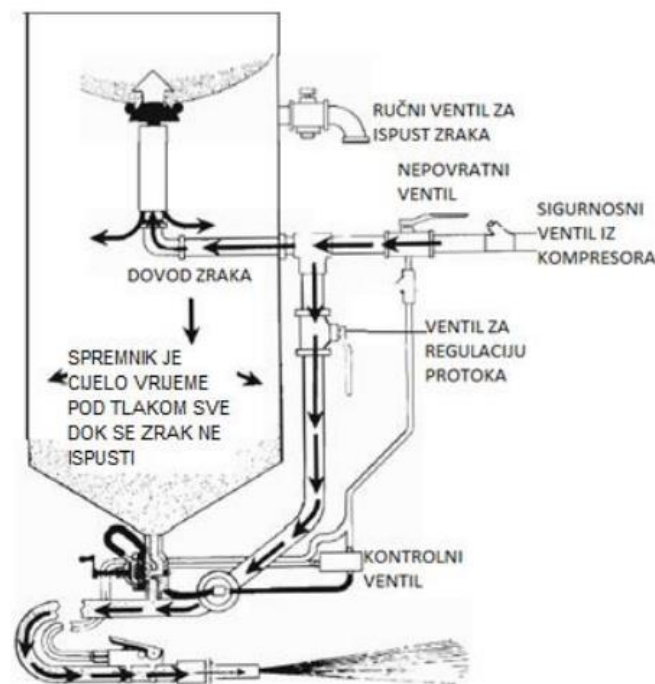
### **7.1.2. Pjeskarenje komprimiranim zrakom**

Ovaj postupak abrazivnog čišćenja koristi komprimirani zrak kako bi se abrazivni materijal primijenio na površinu. Navedena tehnika može koristiti direktnu metodu pritiska ili indukcijsku metodu koja uključuje metodu usisnog sifona ili gravitacijsku metodu.

#### *7.1.2.1. Direktna metoda*

Direktno čišćenje abrazivom komprimiranim zrakom podrazumijeva upotrebu spremnika pod tlakom kako bi se abrazivni materijal dovodio u mlazno crijevo, kao što je prikazano na slici 18.

Komprimirani zrak dovodi se do mlaznog crijeva i gornjeg dijela spremnika pod tlakom. Tlak zraka jednak je i u spremniku i u crijevu za dovod, što omogućuje slobodan pad abraziva kroz otvor na dnu spremnika (točku punjenja). Prilikom upada abraziva kroz otvor prema dovodu i u konačnici do samog pištolja dolazi do njegova miješanja s komprimiranim zrakom. Za održavanje konstantnog tlaka zraka ključan je nepovratni ventil postavljen na crijevu za dovod komprimiranog zraka. Ovi strojevi mogu biti prijenosni kako bi bili pogodni za terenski rad ili ih se može ugraditi u kabine u koje se smješta obradak. Abraziv je u stalnoj cirkulaciji i pohranjen je u gornjem dijelu spremnika pod stalnim tlakom iznad ventila za punjenje. Kada se abraziv iscrpi, operater zatvara ventile za abraziv i komprimirani zrak. Zrak se potom ispusti iz spremnika pod tlakom te kada tlak dosegne nulu ventil za punjenje se otvara kako bi se spremnik ponovno napunio abrazivom koji je u pričuvi. [28]



Slika 18. Oprema za pjeskarenje komprimiranim zrakom [30]

#### 7.1.2.2. Metoda usisnog sifona

Sustav pjeskarenja kroz usisni sifon predstavlja sofisticiranu tehniku koja koristi komprimirani zrak u kombinaciji s fleksibilnim crijevom kako bi se abraziv usmjerio prema obradku. Ovaj proces počinje u lijevku za dovod abraziva, na što se spaja crijevo za abraziv koji povezuje lijevak i pištolj. Komprimirani zrak kroz pištolj stvara podtlak u crijevu, potičući abraziv prema mlaznici gdje ga komprimirani zrak izbacuje prema površini obradka. Prikaz ovog procesa vidljiv je na slici 19. Gumeno crijevo koji povezuje lijevak s pištoljem ima duljinu između 1,5 i 2,5 metra. Brzina abraziva ubrzanog protokom komprimiranog zraka kroz pištolj ne doseže brzinu zraka koji napaja sam uređaj. Na izlazu iz mlaznice brzina abraziva iznosi tek oko 40% brzine komprimiranog zraka u pištolju. Iako ova metoda pokazuje veliku primjenu u ručnom pjeskarenju, u kontinuiranom automatiziranom radu rijetko se koristi zbog specifičnih zahtjeva za abrazivom te se primarno preferira pri uporabi lakših abraziva. [28]

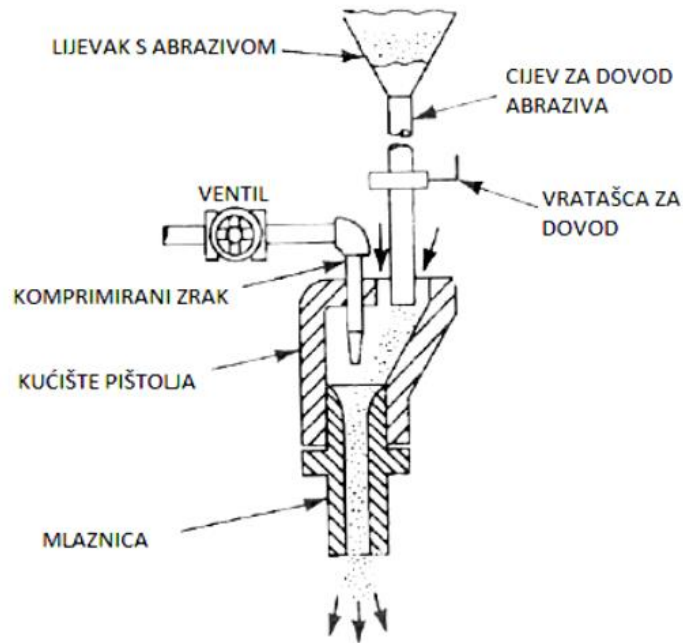


Slika 19. Metoda usisnog sifona [30]

### 7.1.2.3. Gravitacijski dovod abraziva

Dovod abraziva uz pomoć gravitacije prikazan na slici 20 označava tehniku u kojoj se spremnik s abrazivom integrira izravno na pištolj za čišćenje. Ova tehnika slična je prethodno opisanoj metodi s usisnim sifonom, a karakterizira je miješanje zraka s abrazivom u pištolju. Abraziv dolazi do pištolja zahvaljujući djelovanju gravitacijske sile te djelomičnog vakuuma. Važan aspekt ovog procesa je brzo širenje komprimiranog zraka pri izlasku iz mlaznice pištolja, pružajući ubrzanje česticama abraziva kako bi snažno djelovale na obradak. Unatoč mogućnosti primjene u kontinuiranom radu, navedena metoda često se koristi za specifične namjene, poput preciznih dorada površine radi smanjenja preostalih naprezanja. Vrlo često se primjenjuje u situacijama gdje je potrebna visoka preciznost i specifični zahtjevi za obradu površine. [28]





Slika 20. Gravitacijski dovod abraziva [30]

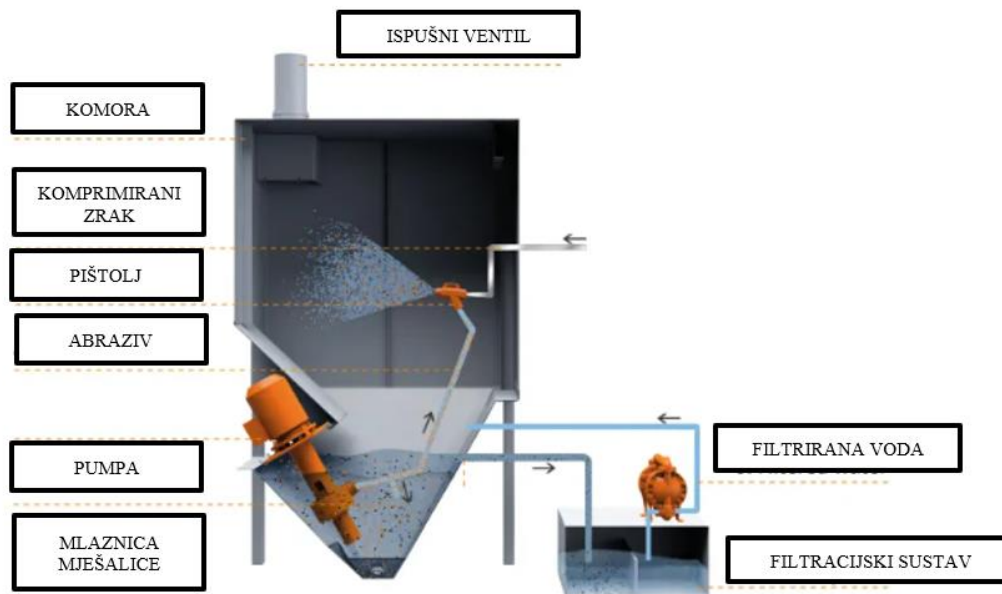
## 7.2 MOKRI POSTUPAK

Suho pjeskarenje postalo je ograničeno zbog zdravstvenih opasnosti prilikom inhalacije silikatne prašine. Također, postoji zabrinutost zbog odlaganja potrošenog abraziva koji može sadržavati olovo ili druge toksične materijale iz boje. Alternativne metode pjeskarenja uključuju abrazive bez silikata, visokotlačno pranje vodom, mokro pjeskarenje te čišćenje alatima na pogon. Alternativni abrazivi poput mineralnih strugotina često eliminiraju opasnost od silikata, ali mogu biti skuplji ili teže dostupni od običnog kvarcnog pijeska. Visokotlačno pranje vodom i čišćenje alatima s druge strane nisu učinkoviti za uklanjanje svih oblika hrđe ili boje. [31]

Za razliku od ostalih alternativa suhom postupku čišćenja površine, mokri postupak čišćenja mlazom abraziva predstavlja pristup čišćenja površine s određenim prednostima u usporedbi sa suhim metodama. Podmazivanje abrazivnih čestica vodom omogućuje njihov veći protok preko površine, rezultirajući ravnomjernije obrađenom površinom s minimalnim oštećenjima. Korištenjem vode kao medija za abraziv postiže se manje prašine u zraku smanjujući tako rizik od respiratornih problema kod operatera i sprječavajući onečišćenje okoliša.

Mokro pjeskarenje uključuje miješanje abraziva s tekućinom, obično vodom, stvarajući suspenziju sličnu blatnoj vodi, koja se zatim komprimiranim zrakom iz specijalne mlaznice projicira na obradak. Suspenzija se šalje iz spremnika za pjeskarenje prema pištolju za pjeskarenja putem pumpe, a zatim se pomoću komprimiranog zraka s vanjskim izvorom usmjerava na obradak. Za vrijeme postupka pjeskarenja, odvija se kontinuirano miješanje suspenzije vode i abraziva kako ne bi došlo do

taloženja čestica abraziva na dnu spremnika. Unatoč većoj preciznosti postupka, mokri postupak čišćenja površine mlazom abraziva ima manju snagu obrade te je sporiji u uklanjanju debljeg sloja boje od suhog postupka čišćenja. Također, cijena opreme je relativno visoka zbog složenijeg mehanizma u usporedbi sa suhim pjeskarenjem. Na slici 21 opisani su dijelovi uređaja za mokri postupak čišćenja površine. [31, 32, 33]



Slika 21 Oprema za mokri postupak pjeskarenja [34]

### 7.3. Stupanj pripreme površine

Standardizirani stupnjevi pripreme površine dani su u tablici 1 prema normi ISO 8501-1. Svaki od navedenih stupnjeva pripreme površine ima svoju važnost ovisno o zahtjevima projekta i vrsti premaza koji će se koristiti. Pravilno odabrani stupanj osigurat će da premaz ima optimalne uvjete za prianjanje i dugotrajnost na površini.

**Tablica 1. Stupnjevi pripreme površine prema normi ISO 8501-1**

|        |   |
|--------|---|
| Sa 3   | Čišćenje mlazom abraziva do vizualno čistog čelika. Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. Površina mora imati ujednačenu metalnu boju.  |
| Sa 2 ½ | Vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva. Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza i stranih tijela. Bilo koji ostaci onečišćenja smiju biti prisutni samo u vidu laganih mrlja nalik na točkice ili pruge. |
| Sa 2   | Temeljito čišćenje mlazom abraziva. Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe premaza i stranih tijela. Bilo koji ostaci onečišćenja moraju dobro prianjati.   |
| Sa 1   | Lagano čišćenje mlazom abraziva. Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, i slabo prianjajuće okujine, hrđe premaza i stranih tijela.   |

## 8. ABRAZIVNI MATERIJAL

Abrazivni materijali za pjeskarenje obuhvaćaju raznolik spektar materijala poput kvarcnog pijeska, aluminijevog oksida, čelika, sode bikarbone, garneta i drugih. Svaki od navedenih materijala ima specifična svojstva i primjene, prilagođavajući se različitim zahtjevima obrade površina.

### 8.1. KVARCNI PIJESAK

Kvarcni pijesak (slika 22), čiji je osnovni sastojak silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), jedan je od najčešće korištenih materijala za pjeskarenje. Međutim, njegova uporaba može rezultirati ozbiljnim opasnostima te je toksičan ako se njime ne rukuje ispravno. Uslijed korištenja kvarcnog pijeska tijekom procesa pripreme površine postupkom pjeskarenja, dolazi do formiranja silikatne prašine čije udisanje može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme poput silikoze, raka pluća te respiratornih problema. Kvarcni proizvodi kategorizirani su kao vrlo opasni pa iz tog razloga zahtijevaju uporabu respiratora i specijalizirane opreme u svrhu zaštite radnika.

Iako postoji svijest o rizicima povezanim s njegovom upotrebom, još uvijek se primjenjuje zbog svoje široke primjene, povoljne cijene i pristupačnosti. Kvarcni pijesak karakterizira visoka abrazivna moć koja omogućuje učinkovito uklanjanje nečistoća, hrđe, boje i drugih neželjenih slojeva s površine metala ili drugih materijala. Međutim, sve više se istražuju i koriste alternativni abrazivni materijali koji nude slične ili bolje performanse u pjeskarenju, ali uz manje zdravstvene rizike za radnike i manji utjecaj na okoliš.

Različite površine zahtijevaju različite granulacije pijeska prilikom procesa pjeskarenja. Finije površine obično zahtijevaju suhi kvarcni pijesak sitnije granulacije od 0,1 mm, kako bi se postigla precizna i glatka obrada. S druge strane, grublje površine poput čeličnih konstrukcija zahtijevaju granulaciju do 2 mm radi učinkovitijeg uklanjanja nečistoća i oblikovanja površine. [35, 36]



Slika 22. Kvarcni pijesak [37]

## 8.2 ČELIČNA SAČMA

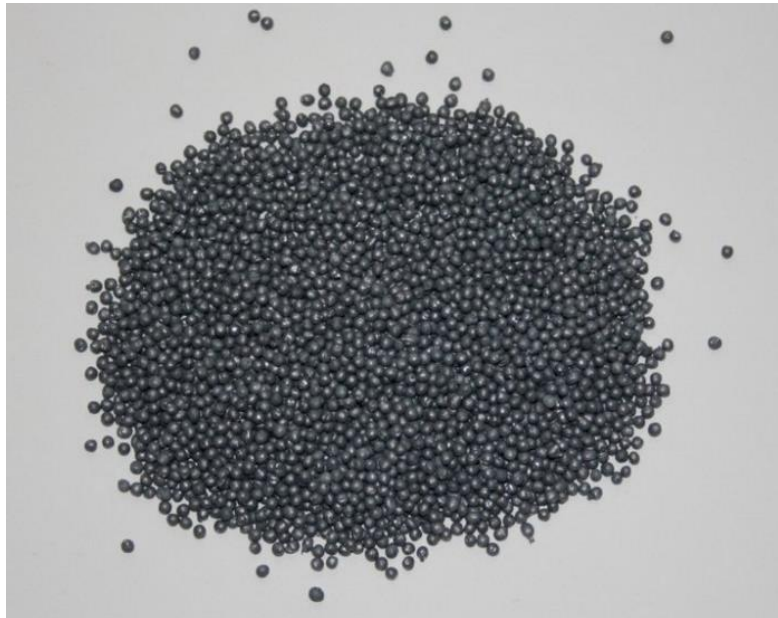
Čelična sačma tvrdi je abrazivni materijal izrađen najčešće od ugljičnog čelika. Obzirom na oblik sačme dijeli se na okruglu čeličnu sačmu i lomljenu čeličnu sačmu. Zahvaljujući svojim svojstvima, dobra je za uklanjanje korozije s površina te ima veliku mogućnost recikliranja čime smanjuje troškove u procesu pripreme površine. Osim toga, abrazivi od čelične sačme proizvode manje prašine tijekom procesa pjeskarenja, čineći radno mjesto ekološki prihvatljivijim i skraćujući vrijeme čišćenja nakon pjeskarenja.

Lomljena čelična sačma prikazana na slici 23 karakterizira se uglavnom granulama te vrlo visokom čvrstoćom. Ovaj oblik čini je izvrsnim za uklanjanje nečistoća s površina kao što su hrđa, ostaci strojne obrade ili zavarivanja, boja i drugih nečistoća s tvrdih materijala poput čelika. Upotreba lomljene sačme rezultira hrapavom, oštrijom i mat površinom, čime se osigurava optimalna priprema prije nanošenja zaštitnih premaza. [38]



Slika 23. Lomljena sačma [38]

Okrugla čelična sačma prikazana na slici 24 ističe se svojom trajnošću i izrazitom čvrstoćom. Koristi se u procesima tlačnog pjeskarenja, posebno u komorama za pjeskarenje, kao i u turbinskom pjeskarenju. Sačmarenje okruglom sačmom osigurava veću čvrstoću površine obradka te uklanjanje površinskih napetosti. U tablici 2 navedena su svojstva lomljene i okrugle čelične sačme. [38]



Slika 24. Okrugla sačma [39]

Tablica 2. Svojstva čelične sačme

| SVOJSTVA               | LOMLJENA SAČMA        | OKRUGLA SAČMA         |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Boja                   | crna                  | crna                  |
| Tvrdoća                | 60-64 HRC             | 56-60 HRC             |
| Specifična težina      | 7,6 g/cm <sup>3</sup> | 7,4 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>GRANULACIJA</b>     | 0,075 - 2,80 mm       | 0,18 - 2,80 mm        |
| <b>KEMIJSKI SASTAV</b> | /                     | /                     |
| C                      | 0,7-1,20%             | 0,7-1,20%             |
| Mn                     | 0,35-1,20%            | 0,35-1,20%            |
| Si                     | <0,40%                | <0,40%                |
| S                      | <0,05%                | <0,05%                |
| P                      | <0,05%                | <0,05%                |

### 8.2.1. SAČMARENJE

Postupak obrade površine za koji se koristi čelična sačma koja se izbacuje iz mlaznice kako bi se na površini obradka prouzročila plastična deformacija naziva se sačmarenje. Postupak sačmarenja može se odvijati ručno ili strojno. Prilikom ručnog sačmarenja, operater upravlja mlaznicom za sačmarenje prilikom kojeg iskorištena sačma pomoću elevatora ponovno dolazi do tlačnog spremnika i mlaznice kojom se upravlja. Kod ručnog postupka sačmarenja češća je upotreba lomljene čelične sačme a proces karakterizira visoka razina produktivnosti te neznatno zagađenje okoliša u usporedbi s ostalim postupcima.

Strojno sačmarenje definirano je brzim izbacivanjem metalnih sačmi iz turbine pri visokim brzinama (76 m/s). Prilikom ovog postupka najčešće se koristi kombinacija okrugle i lomljene sačme variranih granulacija čime se postiže širok spektar učinaka na obrađenoj površini. Ovaj postupak primjenjuje se u metalnoj industriji kod velike količine obradaka ili za površine većih dimenzija. On je potpuno automatiziran, što osigurava konzistentnost i preciznost u procesu. Ovaj postupak također ima visok ekološki standard s izuzetno čistim izlaznim zrakom ostvarenim putem izlaznih filtera. Postrojenje za strojno sačmarenje prikazano je na slici 25. [40]



Slika 25. Postrojenje za sačmarenje [41]

### 8.3. KORUND

Korund je vrsta minerala koji se sastoji od aluminijeva dioksida. Kemijski je spoj  $Al_2O_3$  i prisutan je u prirodi u nekoliko različitih oblika. Koristi se u mnogim industrijama zbog svoje izuzetne tvrdoće i otpornosti na habanje. Smeđi korund i bijeli korund su dvije varijante korunda koje se često koriste kao abrazivni materijali za pjeskarenje.

Smeđi korund, prikazan na slici 26, proizvodi se taljenjem visokokvalitetnog boksita zajedno s antracitom i željeznim piljevinama pri visokim temperaturama. Smeđi korund karakterizira smeđa boja upravo zbog prisutnosti željeza. Smeđi korund po svome kemijskom sastavu uglavnom je  $Al_2O_3$ , s udjelom aluminija od 20 do 96%. Uz aluminij, sadrži male količine željeza, silicija te titanija. Korund je izrazito tvrd i žilav materijal što mu omogućuje da u abrazivnoj primjeni učinkovito uklanja nečistoće, oksidaciju, boje ili hrđu s površine materijala bez oštećenja same površine. Korund ne sadrži silikate što ga čini ekološki povoljnim materijalom. Zbog svojstva vrlo visoke abrazivnosti prilikom pjeskarenja korundom koristi se manji tlak zraka (oko 4 bara), čime se u odnosu na pjeskarenje ostalim abrazivnim sredstvima osiguravaju veće uštede energije. U tablici 3 prikazana su svojstva smeđeg korunda s maksimalnim udjelom aluminija. [42]



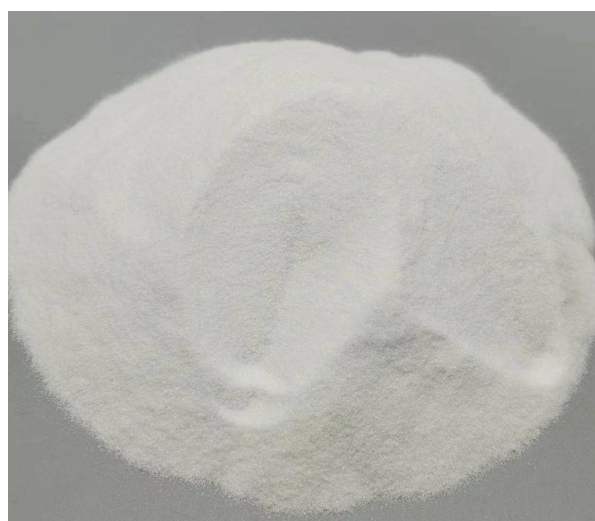
Slika 26. Smeđi korund [42]



Tablica 3. Svojstva smeđeg korunda

| SVOJSTVA                       | SMEĐI KORUND                |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Boja                           | Smeđa                       |
| Oblik                          | Bridasti                    |
| Tvrdoća                        | 9 mohs                      |
| Specifična težina              | 3,9 – 4,1 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>GRANULACIJA</b>             | 0,05 - 2,00 mm              |
| <b>KEMIJSKI SASTAV</b>         | /                           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 95,20 %                     |
| TiO <sub>2</sub>               | 2,45 %                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,15 %                      |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,20 %                      |
| Cao                            | 0,30 %                      |

Bijeli korund prikazan na slici 27 proizvodi se od industrijskog praha aluminijevog oksida koji se topi u elektrolyčnoj peći na temperaturama većim od 2000 stupnjeva i potom hladi. Drobi se i oblikuje, magnetski se odvaja kako bi se uklonilo željezo te se oblikuje u razne granulacije. Bijeli korund također karakterizira visoka čvrstoća, a od smeđeg korunda razlikuje se u čistoći. Sadrži oko 99.4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> te je bez metalnih primjesa za razliku od smeđeg korunda. Postupak pjeskarenja bijelim korundom koristi se u slučajevima kada je nužno dobiti površinu bez metalnih čestica. [43]



Slika 27. Bijeli korund [43]

## **8.4 GARNET**

Garnet je abraziv nastao mljevenjem i odvajanjem iz kamena garneta prikazanog na slici 28. Upravo zbog svoga porijekla, garnet ima veću trajnost u usporedbi s ostalim abrazivnim sredstvima. Karakterizira ga vrlo visoka tvrdoća i odlična abrazivna svojstva, a uz to izuzetno je povoljan za primjenu u osjetljivom okolišu obzirom da stvara najmanje prašine prilikom postupka pjeskarenja od svih ostalih abraziva. U tablici 4 navedene su karakteristike garneta kao abrazivnog sredstva. [44]



**Slika 28. Garnet**

Tablica 4. Svojstva garneta

| SVOJSTVA                       | GARNET                |
|--------------------------------|-----------------------|
| Boja                           | Crvena, smeđa         |
| Oblik                          | bridasti              |
| Tvrdoća                        | 8 mohs                |
| Specifična težina              | 4,1 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>GRANULACIJA</b>             | 10-120 mesh           |
| <b>KEMIJSKI SASTAV</b>         |                       |
| SiO <sub>2</sub>               | 35 %                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23 %                  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 33 %                  |
| MgO                            | 7 %                   |
| CaO                            | 1 %                   |
| MnO                            | 1 %                   |

## 8.5. SODA BIKARBONA

Soda bikarbona vrlo je nježan abraziv, a često se koristi u mješavinama s vodom isključivo u postupcima tlačnog pjeskarenja. Njena niska tvrdoća omogućuje čišćenje osjetljivih površina poput ventila, ležajeva, cilindara, rasplinjača i raznih mehanizama kod kojih je izrazito bitno da ne dolazi do oštećivanja površine materijala. Soda bikarbona u obliku abraziva za pjeskarenje dolazi u granulacijama od 0,3 do 0,7 mm. Na slici 29 prikazano je abrazivno sredstvo sode bikarbone. [30,45]



Slika 29. Soda bikarbona [46]

## 7. KOMPONENTE PREMAZA

Zaštitni sustava premaza sastavljen je od temeljnog premaza, međupremaza i pokrovnog premaza (završnog premaza). Shematski prikaz sustava premaza dan je na slici 30.



Slika 30. Zaštitni sustav

Osnovne osobine temeljnog premaza su prijanjanje na osnovni materijal, antikorozivno djelovanje i dobra kompatibilnost sa međupremazom ili završnim premazom. Iznimno je važno da temeljni premaz pokazuje dobru otpornost na atmosferlije, obzirom da prije nanošenje sljedećeg premaza može proći dugi vremenski period u kojem je premaz izložen vanjskim utjecajima. Zaštita materijala temeljnim premazom ostvaruje se pasivnim načinom, odnosno kao film koji odvaja konstrukcijski metal od korozivnog okoliša te aktivno sprječavajući ionizaciju podloge osnovnog materijala. [8, 25] Međuslojni premaz čini važnu kariku u sustavu premaza, a obično je sastavljen od jednog ili više slojeva. Njegova ključna zadaća je spajanje temeljnog premaza s pokrovnim, omogućujući visoku prionjivost na temeljni sloj i istovremeno pružajući čvrstu podlogu za prijanjanje završnog premaza. Osim toga, međupremaz ima važnu ulogu u osiguravanju odgovarajuće debljine premaznog sustava, ojačavanju kohezije te stvaranju pouzdane veze između temeljnog i završnog sloja. Povezivajući temeljni i završni sloj, međuslojni premaz osigurava stabilnost i cjelovitost premaznog sustava. [8] Završni premaz je posljednji sloj nanosa u premaznom sustavu, primijenjen na prethodno položene slojeve. On ima višestruke zahtjeve od visoke otpornosti na koroziju i UV zračenje do kvalitetne nepropusnosti, visoke tvrdoće i elastičnosti. Osim toga, estetski aspekti, poput nijanse boje i sjaja, također su bitni za završni premaz. Time se osigurava ne samo zaštita površine od vanjskih utjecaja, već i estetski dojam koji premaz ostavlja. [8, 25]

## 8. UVJETI NANOŠENJA PREMAZA

Kako bi se postigao visokokvalitetan rezultat pri premazivanju površine, potrebno je pažljivo planiranje svih aktivnosti, stvaranje optimalnih radnih uvjeta i povoljnih mikroklimatskih uvjeta, pravilan odabir metode primjene te stručnost radnika koji obavlja premazivanje. Da bi se osiguralo visokokvalitetno nanošenje premaza, važno je uzeti u obzir temperaturu podloge. Nužno je da temperatura površine bude najmanje 3 °C viša od točke rosišta kako bi se spriječilo odvajanja boje uzrokovano kondenzacijom. Temperaturu površine moguće je mjeriti kontaktnim termometrom prikazanim na slici 30.



Slika 31. Kontaktni termometar

Drugi od uvjeta je da relativna vlažnost zraka bude ispod 85% kako bi se izbjeglo stvaranje rose na površini. Relativna vlažnost mjeri se higrometrom. Temperatura boje također ima značajnu ulogu. Kod niskih temperatura, određene dvokomponentne boje mogu imati probleme s potpunim otvrdnjavanjem zbog usporenja kemijske reakcije između veziva i otvrdnjivača. Također, pri nižim temperaturama boja postaje viskozija što za posljedicu može imati otežano ravnomjerno nanošenje.

[17]

## 9. ODABIR SUSTAVA PREMAZA

Prilikom odabira zaštitnog premaza za borbu protiv korozije potrebno je razmotriti niz faktora kako bi se pronašlo optimalno rješenje koje je ekonomično i tehnički najprikladnije za specifične potrebe. Navedeni faktori i smjernice za korozivnu zaštitu u skladu su s normom ISO 12944.

### 9.1. KOROZIVNOST OKOLIŠA

Prilikom odabira odgovarajućeg sustava ključno je detaljno razmotriti uvjete u kojima će objekt na kojemu se primjenjuje zaštita biti izložen. Evaluacija korozivnih učinaka okoline zahtijeva razmatranje sljedećih faktora:

- vlažnost i temperatura zraka
- ekspozicija UV zračenju
- utjecaj kemijskih tvari (kemikalije u industrijskim okruženjima)
- potencijalna mehanička oštećenja

Korozivnost okoliša značajno će utjecati na odabir tipa premaza koji se koristi za zaštitu, ukupnu debljinu premaznog sustava te na vrstu i način pripreme površine objekta (što je okoliš korozivniji, to će biti zahtjevnija priprema površine). Također, strogo pridržavanje vremenskih intervala između slojeva premaza važno je za postizanje optimalne zaštite površine. U tablici 5 prikazane su kategorije korozivnosti prema normi ISO 12944-2. [47]

Tablica 5. Kategorije korozivnosti prema normi ISO 12944-2

| Kategorija korozivnosti | Primjeri okoliša  |   |
|-------------------------|---|---|
|                         | Vanjski   | Unutarnji   |
| C1 (jako niska)         | -   | Grijane zgrade sa čistom atmosferom, poput ureda, dućana, škola, hotela.  |
| C2 (niska)              | Lagano onečišćena atmosfera, uglavnom ruralna područja  | Negrijane zgrade u kojima može doći do pojave kondenzacije, npr. spremišta, sportske dvorane                                      |
| C3 (srednja)            | Urbana i industrijska atmosfera s prosječnom razinom onečišćenja sumpornim oksidom (IV); priobalna područja niske razine saliniteta.                  | Proizvodni objekti s visokom vlažnošću i određenim stupnjem onečišćenja zraka, npr. tvornice hrane, praonice, pivovare, mljekare. |
| C4 (visoka)             | Industrijska i priobalna područja srednjeg saliniteta   | Kemijske tvornice, bazeni, remontna brodogradilišta.  |
| C5 (vrlo visoka)        | Industrijska područja s vrlo visokom vlažnošću i agresivnom atmosferom te priobalna područja visoke razine saliniteta.                                | Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja   |
| CX (ekstremna)          | Offshore područja s visokom razinom saliniteta ili industrijska područja ekstremne vlažnosti i agresivne atmosfere ili suptropska i tropska područja. | Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i agresivnim onečišćenjem   |

## 9.2. VRSTA ZAŠTIĆIVANE POVRŠINE

Površine koje se zaštićuju vrlo često su od raznovrsnih materijala kao što su čelik, toplo pocinčani čelik, metalizirani čelik, aluminij ili nehrđajući čelik. Iz tog razloga, prilikom biranja sustava za premazivanje nužno je obratiti pozornost na način pripreme površine, izbor premaznih materijala, posebno temeljnog sloja te na konačnu debljinu premaznog sustava. Navedene karakteristike prilagođene su specifičnim svojstvima materijala koje treba zaštititi.

### 9.3. TRAJNOST SUSTAVA

Trajnost sustava premaza odnosi se na očekivani vremenski period od prvog nanošenja premaza do prvog održavanja. ISO 12944-1 propisuje četiri različita vremenska okvira koja klasificiraju ovu trajnost i navedeni su u tablici 6. [47]

**Tablica 6. Kategorije trajnosti sustava prema normi ISO 12944-1**

| Kategorija     | Trajnost          |
|----------------|-------------------|
| nizak – L      | $\leq 7$ godina   |
| srednji – M    | 7 do 15 godina    |
| visok – H      | 15 do 25 godina   |
| vrlo visok - H | više od 25 godina |



## 10. NANOŠENJE PREMAZA

### 10.1. NANOŠENJE PREMAZA PRSKANJEM

Prskanje (štrcanje) omogućuje brzo nanošenje premaza na velike površine. Velika brzina raspršivanja omogućuje pokrivanje većeg područja u kraćem vremenu u usporedbi s ručnim četkama ili valjcima te omogućuje ravnomjerno nanošenje premaza bez ostavljanja vidljivih tragova. Međutim, nanošenje premaza prskanjem također zahtijeva određenu opremu, obuku za sigurnu uporabu i zaštitu od prašine i isparavanja boje.

#### 10.1.1. Zračno prskanje

Zračno prskanje temelji se na principu raspršivanja boje u finu maglicu pomoću komprimiranog zraka. Za nanošenje premaza zračnim prskanjem koristi se pištolj za prskanje prikazan na slici 32, u koji se boja dovodi prema sljedećim principima - gravitacijom, podtlakom ili pod tlakom povezanim sa spremnikom. Prilikom zračnog prskanja boja i zrak mogu se miješati ispred ili iza mlaznice pištolja kako bi se postigli željeni učinci. Ukoliko se boja i zrak miješaju prije mlaznice, tlak prskanja je manji a mlaz boje je širi što rezultira velikim gubitkom boje u okoliš. S druge strane, ukoliko se boja i zrak miješaju iza mlaznice postiže se kontroliraniji proces prskanja kojeg karakterizira uža mlaz boje i veći tlak zraka prskanja.



Slika 32. Pištolj za zračno prskanje [48]

Prilikom premazivanja površine zračnim prskanjem nužna je upotreba razrjeđivača u svrhu osiguranja zahtijevane viskoznosti boje kako bi se olakšalo njeno raspršivanje, a samim time i nanošenje premaza. Zrak se u pištolj za zračno prskanje uvodi kontroliranim tlakom, obično između 0,12 do 0,5 MPa, a volumen premaznog sredstva kontrolira se prilagodbom mlaznice na pištolju. Ovaj postupak je visoko produktivan i često se koristi u automobilskoj industriji, ali nije preporučljiv za nanošenje premaza na složenim ili teško dostupnim dijelovima. Značajni nedostatak premazivanja površine zračnim prskanjem je velika potrošnja boje. Slika 33 prikazuje cijevne elemente premazane temeljnim slojem uz pomoć pištolja za zračno prskanje. [8, 49]



Slika 33. Cijevni elementi

### 10.1.2. Bezračno prskanje

Bezračni postupak prskanja, poznat i kao *airless* postupak, stvara mlaz premaznog sredstva u pištolju bez miješanja sa zrakom. Kod bezračnog prskanja pneumatičkim putem visokotlačnim zrakom potiskuje se premazno sredstvo kroz mlaznicu s ciljem postizanja njegove velike izlazne brzine. Postupak prskanja može se provesti i hidrauličkim putem za što se koristi pumpa za boju. Prilikom bezračnog prskanja tlak zraka je u rasponu između 1 i 30 MPa, a volumen premaznog sredstva

kontrolira se prilagodbom tlaka rada i mlaznice na pištolju. U odnosu na zračno prskanje nije potrebna upotreba razrjeđivača te se ovim postupkom postiže veća produktivnost i mogućnost dobivanja debljih premaza, što omogućuje smanjenje broja njegovih slojeva. Zbog mogućnosti pružanja snažnog mlaza pod visokim tlakom a time i dobre penetracije, bezračno prskanje je najpogodnije za nanošenje temeljnog premaza. No, u tom slučaju otežano je dobivanje potpuno glatkih površina što narušava njen estetski dojam. Na slici 34 prikazan je uređaj za bezračno nanošenje premaza. [8, 50]



**Slika 34. Uređaj za bezračno prskanje [51]**

## 10.2. RUČNO NANOŠENJE PREMAZA

Postupak ručnog premazivanja najčešće se vrši na gradilištu, a premazna sredstva se u najvećem broju slučajeva nanose četkom (kistovima). Četke se izrađuju od snopova vlakana prirodnog ili sintetičkog podrijetla kao što su svinjske čekinje ili poliamid. Nanošenje premaza četkom karakterizira minimalne gubitke premaznog sredstva, a premaz se dobro utrjava u podlogu. Ručno premazivanje površine najčešće se primjenjuje za nanošenje temeljnog sloja na konstrukcijama, za bojanje manjih područja, rubova i kutova. Prilikom četkanja nije nužno koristiti razrjeđivač obzirom da proizvođači obično proizvode boje s prilagođenom viskoznošću za ovu vrstu nanošenja. Međutim, nedostatak četkanja je niska produktivnost i neefikasnost postupka premazivanja (obzirom na vrijeme potrebno da se premaz nanese na površinu), kao i mogućnost pojave tragova četke i neujednačenosti debljine premaza što estetski degradira površinu. Slika 35 prikazuje postupak nanošenja premaza četkom.



Slika 35. Ručno premazivanje površine [52]

## 11. SUŠENJE PREMAZA

Nakon nanošenja sloja premaza, dolazi do faze sušenja koja može biti podijeljena na dva osnovna tipa: fizikalno i kemijsko sušenje.

Fizikalno sušenje podrazumijeva formiranje filmova putem isparavanja otapala što čini odabir otapala ključnim faktorom u ovom procesu. Ova metoda koristi se za sušenje boja koje se temelje na otapalima ili vodi te se često primjenjuje kod visokomolekularnih termoplastičnih polimera (akrilnih smola, vinilnih smola i bitumena).

Kod kemijskog sušenja reakcije sušenja u procesu stvaranja filma premaza variraju ovisno o vrsti premaza i kemijskim reakcijama koje se događaju. Neki premazi se suše putem oksidacije, što se događa kada kisik reagira s vezivom, stvarajući konačan film. Ova metoda često se koristi za uljne premaze, posebno one s nezasićenim masnim kiselinama u svom sastavu.

Drugi pristup sušenju je dvokomponentno sušenje. Na ovaj način suše se premazi u kojima se boja sastoji od osnove (baze) i sredstva za otvrdnjavanje (komponente). Kada se ova dva dijela pomiješaju, sredstvo za otvrdnjavanje reagira s vezivom kako bi stvorilo film. Radno vrijeme ovog tipa premaza odnosi se na vrijeme koje je premaz upotrebljiv nakon miješanja. Putem ovog procesa otvrdnjavaju epoksidi, epoksi smole, poliuretani, polieteri, epoksi-akrili i epoksi-vinili.

Kod preostalih načina kemijskog sušenja nastaju polimerizirajuće reakcije gdje se filmovi formiraju kroz interakciju veziva s vlagom u zraku, reakcijom s ugljičnim dioksidom ili putem procesa polimerizacije pri visokim temperaturama.

Važno je naglasiti kako se kemijsko sušenje boja i lakova ne odvija isključivo na jedan od navedenih načina. Bez obzira na to koristi li se otapalni ili vodeni sustav koji se suši na višoj temperaturi, kemijski proces sušenja uvijek se nastavlja na fizikalni proces sušenja. Proces sušenja moguće je ubrzati primjenjujući dva glavna pristupa:

- sušenje toplim zrakom
- sušenje zračenjem.

Kod sušenja premaza konvekcijom (prijenosom toplog zraka), zrak je potrebno prethodno zagrijati kako bi mogao dalje prenositi toplinu na premaz. Za razliku od toga, prilikom sušenja putem zračenja, toplina se izravno prenosi od izvora zračenja na premaz. [3, 8]

## 12. TEHNOLOGIJA ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE PREMAZIMA NA PRIMJERU INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA

U ovom dijelu diplomskog rada, opisat će se tehnologija antikorozivne zaštite nanošenjem organskih premaza na primjeru industrijskog postrojenja (separatora zraka) prikazanog na slici 36.



Slika 36. Industrijsko postrojenje - separator zraka

Postrojenje se sastoji od cijevi i konstrukcija koje su izložene atmosferi. Na navedenim elementima, antikorozivna zaštita primjenjena je u lakirnici tvrtke Monter strojarske montaže d.d. i na samom gradilištu.

Ova tehnologija obuhvaća sljedeća poglavlja:

- upute o proizvodu
- propisi i norme
- izvođenje antikorozivne zaštite
- zaštitni sustav
- kontrola kvalitete antikorozivne zaštite
- izvođenje popravaka
- zaštita na radu

## 12.1. UPUTE O PROIZVODU

Sredstva za antikorozivnu zaštitu (premazi i otapala), sadrže otapala koja su lako zapaljiva i koja oslobađaju štetne pare. Ova sredstva obavezno treba skladištiti u hermetički zatvorenim spremnicima, s istaknutim etiketama proizvođača na kojima se nalazi naziv proizvoda i broj šarže proizvoda.

Kad je riječ o prostoru za skladištenje, sredstva za antikorozivnu zaštitu treba čuvati u posebno određenim prostorima. Ti skladišni prostori moraju imati čvrstu konstrukciju i krov koji omogućuje dobru ventilaciju zraka. Održavanje temperature unutar raspona od 5°C do 25°C ključno je kako bi se osigurala stabilnost svojstava ovih sredstava tijekom skladištenja.

Proizvođač premaza pruža smjernice i upute za pripremu premaza, a primjena se provodi korištenjem različitih alata, uključujući četke, uređaje s raspršivačima i druge odgovarajuće instrumente, prilagođavajući ih vrsti površine koja se tretira, njenom položaju i pristupačnosti te vrsti sredstva koje se koristi za zaštitu površine. Prilikom izbora sredstava za premazivanje, važno je obratiti pažnju na kompatibilnost temeljnih i pokrovnih premaza. Temeljni i pokrovni premaz trebaju biti od istog proizvođača, ako je moguće, ili moraju biti komatibilni kako bi se osigurala najbolja zaštita i dugotrajnost premaza.

Važno je pridržavati se svih sigurnosnih uputa i procedura prilikom rukovanja ovim sredstvima, uključujući upotrebu osobne zaštitne opreme i održavanje dobre ventilacije u radnom okolišu. Također, redovito praćenje stanja sredstava za antikorozivnu zaštitu, kao i praćenje rokova upotrebe, doprinosi njihovoj učinkovitoj primjeni.

## 12.2. PROPISI I NORME

Izvođenje i kontrola antikorozivne zaštite navedenog objekata provodi se u skladu s projektom i njegovim zahtjevima. Prilikom izvođenja radova potrebno je pridržavati se svih propisa zaštite na radu i zaštite od požara. U okviru ovog projekta primjenjuju se sustavi zaštite od korozije prema standardu EN ISO 12944-5. Odabrana je kategorija atmosferske korozivnosti C3 s predviđenim dugim vijekom trajanja od više od 15 godina. Sve navedeno ima za cilj osigurati učinkovitu i dugotrajnu antikorozivnu zaštitu objekata.

## 12.3. IZVOĐENJE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE

### 12.3.1. Priprema površine

Prije nanošenja zaštitnog premaza (boje) potrebno je površinu očistiti od hrđe, masti, ulja, okujine, vlage, prašine i svega ostalog što bi moglo spriječiti dobro prijanjanje prevlake na metalnu površinu. Kvaliteta pripreme površine definirana je standardom HRN EN ISO 8501.

Sva ulja i masti s površine moraju se ukloniti pomoću odgovarajućeg deterdženta ili otapala prije pjeskarenja, a i prije bojanja. Mlazom abraziva (postupkom pjeskarenja) potrebno je pripremiti površinu (ukloniti hrđu i okujinu) do stupnja Sa 2,5 prema normi HRN EN ISO 8501 – 1: 2007. Spojevi i zavari također se moraju pažljivo očistiti.

Prije pjeskarenja adekvatnim alatom i uređajima za pjeskarenje, obavezno je izvršiti slijedeće mjere:

- prije pokretanja kompresora nužno je uvjeriti se da su svi priključci ključnih komponenti ispravni i da uređaj nije na bilo koji način oštećen
- zbog prašine nastale u procesu pjeskarenja, nužno je koristiti osobnu zaštitnu opremu; respirator, zaštitnu odjeću i obuću te masku
- osigurati dobru ventilaciju radnog prostora kako bi se smanjila izloženost prašini i isparljivim tvarima
- zatvoriti sve otvore čepovima, odnosno plastičnim poklopcima te zaštititi ventile, brtvenice, pokazivače nivoa, instrumente i ostalu opremu. Slivnici i drenaže moraju se zatvoriti u blizini mjesta pjeskarenja, a izvođač radova mora osigurati natpise upozorenja o pjeskarenju
- odabrati odgovarajući abrazivni materijal i granulaciju koji odgovara vrsti površine koja se obrađuje
- relativna vlažnost zraka za vrijeme pjeskarenja ne smije biti veća od 85% obzirom da pjeskarena površina vrlo brzo korodira, naročito u ambijentu velike vlažnosti ili u slanoj atmosferi.
- tlak zraka na sapnici treba biti minimalno 5 bara.
- osigurati hrapavost površine od 40 do 75  $\mu\text{m}$ .

Rotacijskim i ručnim četkama provodi se čišćenje površina koje su zahvaćene korozijom ili prekrivene korozivnim naslagama, s ciljem postizanja potrebne čistoće koja omogućuje uspješnu primjenu odgovarajućeg sustava antikorozivne zaštite. Nakon čišćenja, provodi se vizualna kontrola kako bi se osiguralo da su sve površine prikladne za primjenu antikorozivnog premaza.



### 12.3.2. Prevlačenje površine

Prevlačenje površine može se izvesti:

- u radionici i na gradilištu nakon montaže opreme
- kompletno u radionici
- kompletno na gradilištu.

Operater u procesu nanošenja sustava premaza dužan je pridržavati posebnih preporuka proizvođača koji se odnose na trajnosti pripremljene boje, debljinu slojeva, vrstu alata kojim se nanosi premaz, temperaturi i vlažnosti zraka za vrijeme nanošenja, vremenima sušenja pojedinih slojeva te drugim posebnim uvjetima za primjenu temeljnih i pokrivnih sredstava zaštitnog sustava. Konstrukcija (čelik) se ne zaštićuje premazom do 50 mm od ruba mjesta na kojemu su predviđeni zavarivački radovi.

Nakon montaže vrši se korekcija eventualno oštećenog radioničkog premaza uz poštivanje određenih napomena. Oštećena boja mora se u potpunosti ukloniti s površine, a minimalno vrijeme između nanošenja dvaju premaza treba biti 24 sata. Međuslojevi iste boje moraju biti u različitim nijansama, da se omogući vizualna kontrola; tijekom rada treba kontrolirati debljinu svakog sloja, a nakon završetka debljinu ukupnog sustava zaštite.

Nanošenje premaza vrši se na čistu i suhu površinu s temperaturom koja je 3°C iznad rosišta kako bi se spriječila kondenzacija. Optimalni uvjeti za izvođenje antikorozivne zaštite su:

- temperatura okoline 15°C do 25°C
- relativna vlažnost zraka do 70%.

Na slici 37 prikazani su cijevni elementi postrojenja koji su podvrgnuti postupku zračnog prskanja, čime je osiguran ravnomjeran i adekvatan nanos organskog premaza, a na slici 38 vidljivi su oslonci postrojenja na kojima je proveden postupak nanošenja temeljnog premaza.



Slika 37. Cijevni elementi premazani u lakirnici



Slika 38. Oslonci premazani temeljnim slojem

## 12.4. ZAŠTITNI SUSTAV

Na objektu se primjenjuje sljedeći sustav zaštite od korozije prema normi EN ISO 12944-5:

- C3.09. klasa trajnosti iznad 15 godina (H)

|  |   |
|--|---|
| Priprema površine                                  | Čišćenje pjeskarenjem do čistoće sa Sa 2,5 prema HRN ISO 8501-1 |
| <b>Temeljni premaz</b><br>Hempadur Avantguard 750  | Epoksi premaz<br>Debljina suhog sloja (1 x 80 µm)               |
| <b>Pokrivni premaz</b><br>Hempathane Topcoat 55210 | Poliuretanski premaz<br>Debljina suhog sloja (1 x 80 µm)        |
| Ukupna debljina suhog premaza (NDFT): 160 µm.      |   |

## 12.5. KONTROLA KVALITETE ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE

Tijekom izvođenja radova potrebno je kontrolirati sve faze antikorozivne zaštite vizualno od strane izvođača. Nakon vizualne provjere potrebno je izvršiti i kontrolu debljine premaza te kontrolu prionjivosti premaza na površinu. Prije nanošenja završnog premaza, potrebno je ispitati debljinu temeljnog premaza kako se sa sigurnošću utvrdilo da je premaz pravilno nanesen i da će pružiti adekvatnu zaštitu. Nakon nanošenja završnog premaza, nužno je izmjeriti ukupnu debljinu premaza kako bi se potvrdilo da su svi slojevi ravnomjerno nanesen i da su zadovoljili zahtjevane specifikacije.

Kvaliteta izvedene zaštite od korozije podrazumijeva ispitivanje prionjivosti premaza te ispitivanje debljine premaza, a utvrđuje se sljedećim metodama:

- ispitivanje urezivanjem mrežice (prema normi EN ISO 2409:2020)
- mjerenje debljine mokrog i suhog filma.

## 12.6. IZVOĐENJE POPRAVAKA

Oštećenja ili nepravilnosti koja se uoče tijekom rutinske kontrole ili u slučaju eventualnih fizičkih ili kemijskih oštećenja treba odmah sanirati kako bi se očuvao integritet zaštitnog sloja.

Oštećenu zaštitu, odnosno mjesta na kojima se utvrdi nepravilnost, treba pažljivo pripremiti prije nego što se pristupi ponovnom premazivanju. Ovo uključuje temeljito čišćenje površine kako bi se

uklonile sve nečistoće, prljavština ili oštećeni premazi. Također je važno osigurati odgovarajuću hrapavost površine kako bi se osiguralo dobro prianjanje novog premaza.

Sustavi boja koji se koristi za izvođenje popravaka identični su sustavima već spomenutim u ovoj tehnologiji. To znači da se koriste isti premazi i tehnike kako bi se osigurala dosljednost i kompatibilnost s postojećom zaštitom.

### **12.6.1. Priprema površine**

Za popravke oštećenja nužno je izvršiti pripremu površine mehaničkim alatima do stupnja St3 (metalnog sjaja) u skladu s ISO 8501-1:2007. To se postiže korištenjem brusilice ili sličnog mehaničkog alata. Cilj je ukloniti sve tragove korozije, oksidacije i oštećenja na površini kako bi se stvorila čista i prihvatljiva podloga za nanos premaza. Obavezno je izraditi vidljive prijelaze oko oštećenja, što podrazumijeva da se rubovi postojećih premaza stanje kako bi se postigao glatki prijelaz između postojeće zaštite i područja oštećenja.

### **12.6.2. Nanošenje premaza**

Premaze je potrebno aplicirati redosljedom i u debljima filma koje su prethodno navedene u ovoj tehnologiji, koristeći se pritom adekvatnim alatima u skladu s veličinom oštećenja. Temeljni premaz potrebno je nanositi četkama kako bi se postigla precizna i kontrolirana primjena premaza na oštećenu površinu, dok se pokrivni premaz može nanositi četkama, ali i valjcima.

## **12.7. ZAŠTITA NA RADU**

Prilikom izvođenja radova, bez obzira na način nanošenja premaza, važno je osigurati da svi operateri budu opremljeni odgovarajućom opremom za zaštitu na radu. Ova mjera ima za cilj sprječavanje ozljeda, trovanja ili bilo kakvih drugih nezgoda.

Operateri su dužni nositi odgovarajuću zaštitnu odjeću i obuću, uključujući radne kombinezone ili odijela te rukavice kako bi zaštitili svoju kožu od kontakta s premazima, a u situacijama gdje postoji rizik od udisanja štetnih isparavanja ili čestica iz premaza koristiti odgovarajuće respiratore. Kako bi se zaštitili od prskanja premaza i spriječili kontakt boje s očima, operateri su dužni nositi zaštitne naočale ili maske za oči.

## 13. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada provedena je priprema uzoraka na dva načina; pjeskarenjem i sačmarenjem te je zatim nanesen sustav premaza opisan u tehnologiji u ovom radu. Na uzorcima su potom izvršena laboratorijska korozivna ispitivanja te su ispitana fizikalna svojstva sustava premaza. Prvi dio eksperimentalnog rada koji uključuje pripremu površine i nanošenje sustava premaza, te mjerenje debljine temeljnog sloja premaza i ukupne debljine suhog premaza odrađen je u postrojenju tvrtke Monter strojarke montaže d.d.

Drugi dio eksperimentalnog rada koji uključuje ispitivanja fizikalnih i korozivnih svojstava premaza proveden je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za zaštitu materijala.

### 13.1. PRIPREMA POVRŠINE

Za potrebe eksperimentalnog istraživanja, korišteno je 20 uzoraka dimenzija 150 mm x 100 mm i debljine 4 mm izrađeni od općeg konstrukcijskog materijala oznake S235. Prije nanošenja zaštitnog premaza površine uzoraka temeljito su očišćene od okujine, hrđe, masti, ulja te ostalih nečistoća koje bi mogle negativno utjecati na prianjanje prevlake.

Na deset uzoraka (označenih brojevima od 1 do 10) priprema površine izvedena je pjeskarenjem do stupnja Sa 2,5 prema normi HRN EN ISO 8501-1:2007 uređajem za ručno tlačno čišćenje površine mlazom abraziva danog na slici 39. Kao abrazivno sredstvo korišten je kvarcni pijesak granulacije 0,40 mm. Kvarcni pijesak izbacivan je na uzorke pod tlakom od 6 bara. Slika 40 prikazuje površinu jednog od uzoraka tretiranih pjeskarenjem, pružajući vizualni prikaz rezultata ovog procesa.



Slika 39. Uredaj za pjskarenje



Slika 40. Pjskarena površina

Na preostalih deset uzoraka (označenih brojevima od 11 do 20), priprema površine izvršena je postupkom strojnog sačmarenja u protočnoj sačmarilici sa šest turbina koja je vidljiva na slici 41. Kao abrazivni materijal korištena je lomljena sačma oznake GH40 granulacije 0,3 mm do 1 mm.



Slika 41. Sačmarilica

Brzina čelične sačme tijekom postupka sačmarenja iznosila je oko 80 m/s. Na slici 42 vidljiva je površina uzorka nakon postupka sačmarenja.



Slika 42. Sačmarena površina

### 13.2. NANOŠENJE PREMAZA

Nakon pripreme površine, na uzorke se nanosi sustav premaza prema opisanoj tehnologiji. Sustav premaza sastoji se od temeljnog epoksidnog sloja te pokrivnog dvokomponentnog poliuretanskog premaza. Zahtijevana ukupna debljina suhog filma iznosila je 160  $\mu\text{m}$ .

Kao temeljni premaz korišten je aktivirani, cinkom bogati dvokomponentni epoksidni temeljni premaz proizvođača Hempel, naziva Hempadur Avantguard 750. Navedeni premaz upotrebljava se kao temeljni premaz za dugoročnu zaštitu čelika u jako korozivnom okolišu, a pripada kategoriji brzosušećih temeljnih premaz s kratkim minimalnim međupremaznim intervalima. Karakterizira ga visoka mehanička čvrstoća otpornost na visoku relativnu vlažnost tijekom primjene. Komponente boje su baza (1736U) i utvrđivač (97043) koje se prije same upotrebe miješaju volumno u omjeru 8.5:1.5. Zahtijevana debljina temeljnog premaza iznos 80  $\mu\text{m}$ .

Za pokrivni premaz korištena je dvokomponentna poliuretanska lak boja na bazi akrilne smole proizvođača Hempel, naziva Hemplathane Topcoat 55210. Navedena boja koristi se za jako korozivno atmosfersko okruženje, s minimalnom temperaturom otvrdnjavanja od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Komponente boje su baza (55219) i utvrđivač (95370) koje se prije same upotrebe miješaju volumno u omjeru 7:1. Zahtijevana debljina pokrivnog premaza iznosi 80  $\mu\text{m}$ . Navedeni premazi prikazani su na slici 42.



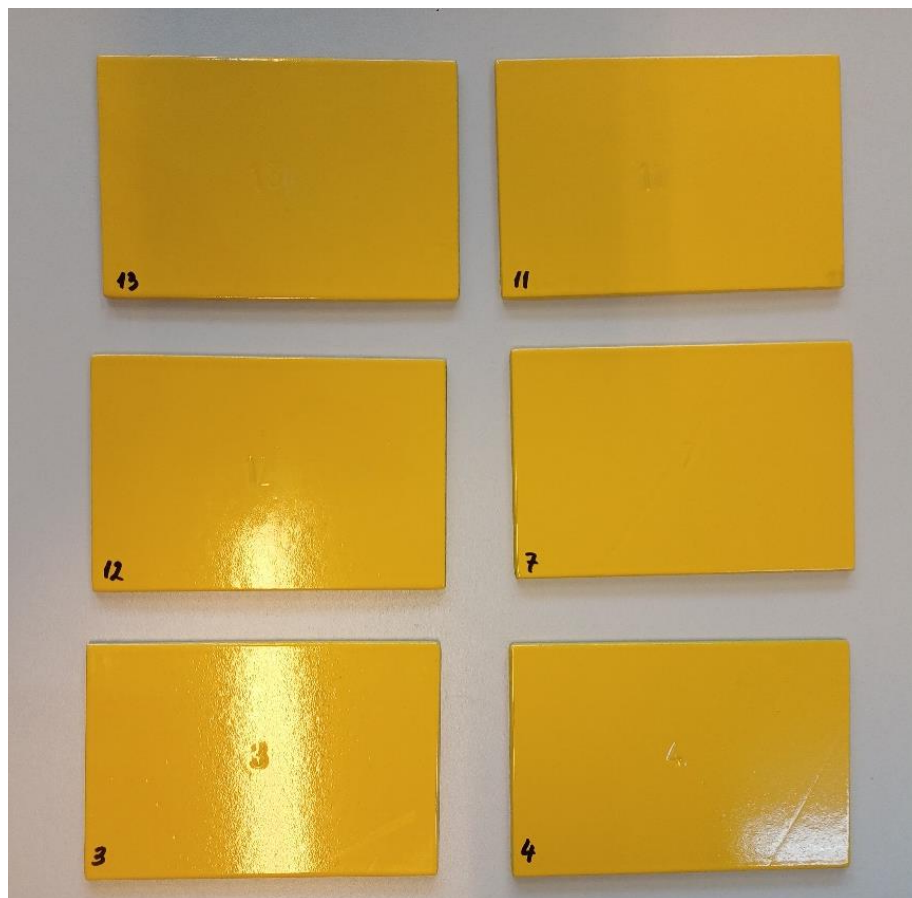
Slika 43. Zaštitni premazi Hempadur Avantguard 750 (lijevo) i Hemplathane Topcoat 55210 (desno)



Za nanošenje sustava premaza korišten je uređaj za zračno prskanje prikazan na slici 44, s pištoljem u koji se uvodi zrak pri tlaku od 2 bara dok je izlazni tlak iz pištolja 0,65 bara. Razdoblje između nanošenja temeljnog i pokrivnog premaza iznosilo 24 sata, a ukupno vrijeme sušenja premaza pri sobnoj temperaturi prije daljnjih ispitivanja trajalo je 20 dana. Na slici 44 vidljiv je dio uzoraka nakon nanošenja premaznog sustava.



**Slika 44. Uređaj za zračno prskanje**



Slika 45. Premazani uzorci

### 13.3. MJERENJE DEBLJINE SUHOG FILMA PREMAZA

Prilagodba debljine i broja slojeva neophodna je za pojedino okruženje u kojem se obradak nalazi. Manje debljine slojeva od propisanih mogu izazvati prijevremenu pojavu korozije, a veće debljine mogu rezultirati značajnim povećanjem proizvodnih troškova te imaju utjecaj na pojavu boranja i pukotina te pojavu mjehuranja prilikom napreznja.

U svrhu mjerenja debljine suhog filma koristi se nerazorna metoda mjerenja elektronskim uređajem. Mjerenje debljine suhog filma prikazano na slici 47, provedeno je u postrojenju tvrtke Monter strojarske montaže d.d. na svim uzorcima na kojima je nanesen premaz (uzorci od 2 do 19), na 4 različita mjesta uz pomoć uređaja proizvođača Insize prikazanog na slici 48. Navedeni uređaj prije uporabe umjerava se uz pomoć etalona. Prilikom mjerenja, sonda uređaja koja emitira elektromagnetsko polje postavlja se na površinu prevlake te prema vremenu odziva signala uređaj zatim izračunava debljinu prevlake. U tablici 7 prikazani su rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza.



Slika 46. Mjerenje debljine premaza

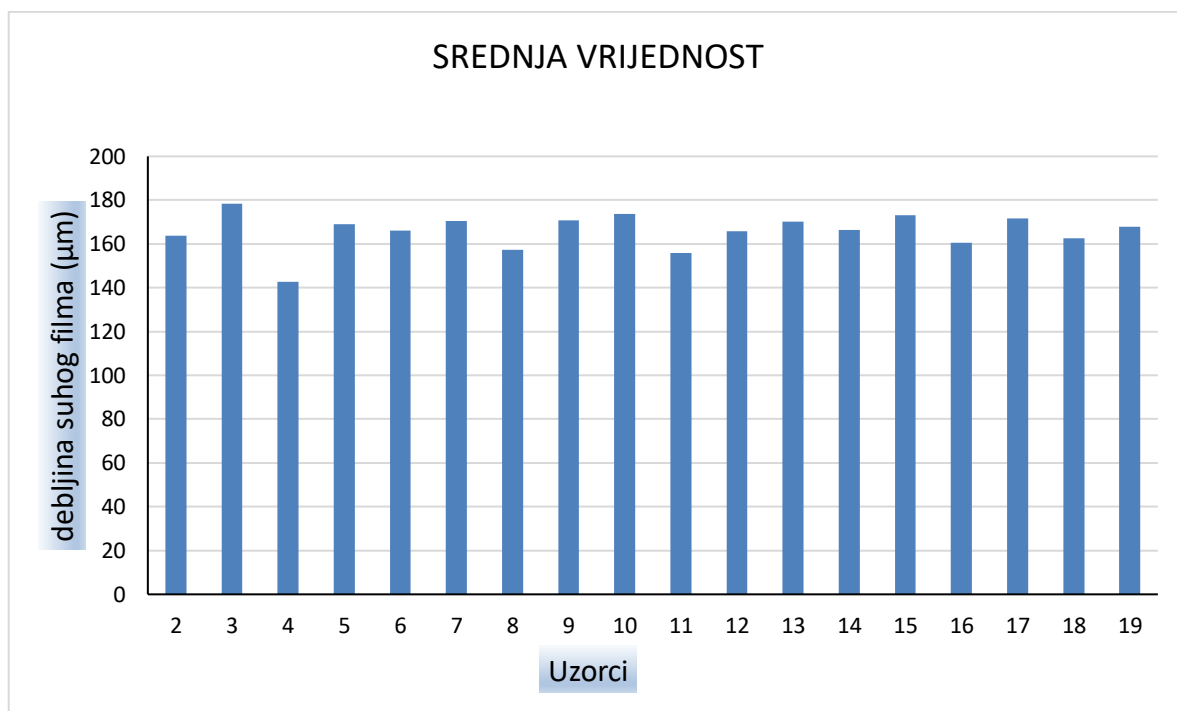


Slika 47. Uređaj za mjerenje debljine stijenke

Tablica 7. Rezultati mjerenja debljine suhog filma

| Uzorak             | Izmjerena vrijednost ( $\mu\text{m}$ ) |                   |                   |                   |
|--------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|
|                    | 1. Mjerenje                            | 2. mjerenje       | 3. mjerenje       | 4. mjerenje       |
| 2                  | 147                                    | 177               | 155               | 176               |
| 3                  | 172                                    | 183               | 188               | 170               |
| 4                  | 146                                    | 145               | 139               | 141               |
| 5                  | 186                                    | 165               | 179               | 146               |
| 6                  | 161                                    | 178               | 154               | 171               |
| 7                  | 182                                    | 165               | 189               | 146               |
| 8                  | 144                                    | 150               | 163               | 172               |
| 9                  | 168                                    | 181               | 177               | 157               |
| 10                 | 168                                    | 183               | 180               | 164               |
| 11                 | 141                                    | 154               | 166               | 163               |
| 12                 | 159                                    | 168               | 162               | 174               |
| 13                 | 171                                    | 176               | 164               | 170               |
| 14                 | 172                                    | 166               | 163               | 165               |
| 15                 | 167                                    | 182               | 175               | 169               |
| 16                 | 163                                    | 170               | 158               | 151               |
| 17                 | 187                                    | 173               | 166               | 161               |
| 18                 | 149                                    | 168               | 160               | 173               |
| 19                 | 175                                    | 172               | 164               | 160               |
| Srednja vrijednost | 164 $\mu\text{m}$                      | 170 $\mu\text{m}$ | 167 $\mu\text{m}$ | 163 $\mu\text{m}$ |

Slika 48 prikazuje graf u kojem su opisane srednje vrijednosti izmjerenih debljina suhog filma na pojedinom uzorku. Iz navedenih rezultata zaključuje se kako nema većih odstupanja u debljini premaza ovisno o uzorku.



Slika 48. Graf srednjih vrijednosti debljine premaza

## 13.4. HRAPAVOST POVRŠINE

Jedan uzorak čija je površina obrađena metodom pjeskarenja te jedan sačmaren uzorak nije podvrgnut prevlačenju premaznim sustavom kako bi se na njima mogla ispitati hrapavost površine. Hrapavost površine ispitana je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za zaštitu materijala dvjema metodama; pomoću uređaja „Elcometer 224“ te pomoću uređaja s pomičnim ticalom.

### 13.4.1. Mjerenje hrapavosti uređajem „Elcometer 224“

Hrapavost površine ispitana je uređajem „Elcometer 224“ prikazanog na slici 49. Korišteni uređaj se prije svakog mjerenja umjerava na staklenom etalonu. Laganim pritiskom uređaja na točku na površini uzorka, igla na sondi mjeri dubinu profila. Kako bi se dobio što vjerniji prikaz rezultata hrapavosti površine provedeno je po 10 mjerenja na jednom od sačmarenih i jednom od pjeskarenih uzoraka. Tablica 8 prikazuje rezultate mjerenja na pjeskarenoj površini a tablica 9 rezultate mjerenja na sačmarenoj površini.



Slika 49. Mjerenje hrapavosti uređajem „Elcometer 224“

Tablica 8. Rezultati mjerenja hrapavosti na pjeskarenim uzorcima

| Abraziv            | kvarcni pijesak |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|--------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Mjerenje           | 1.              | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. |
| Vrijednost (μm)    | 59              | 74 | 63 | 61 | 57 | 48 | 45 | 55 | 57 | 71  |
| Srednja vrijednost | 59 μm           |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

Tablica 9. Rezultati mjerenja hrapavosti na sačmarenim uzorcima

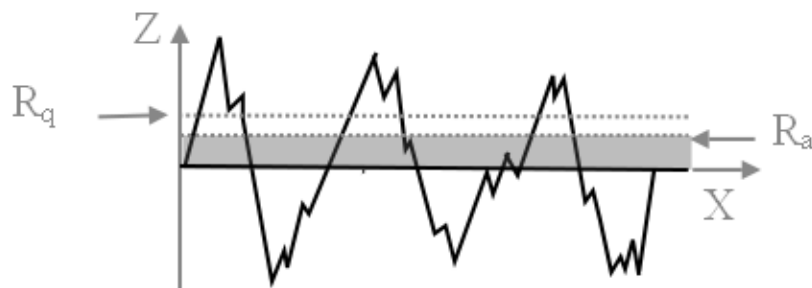
| Abraziv            | čelična sačma |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|--------------------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Mjerenje           | 1.            | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. |
| Vrijednost (μm)    | 37            | 25 | 28 | 41 | 37 | 26 | 36 | 28 | 35 | 31  |
| Srednja vrijednost | 32 μm         |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

### 13.4.2. Mjerenje hrapavosti uređajem s pomičnim ticalom

Uređaj s pomičnim ticalom za mjerenje hrapavosti koristi ticalo koje lagano klizi po površini. Dok se kreće, vrlo precizno bilježi varijacije visine i dubine, stvarajući profil. Postupak mjerenja hrapavosti navedenim uređajem prikazan je na slici 50. Na temelju tih podataka očitavaju se parametri (slika 51) koji uključuju srednje aritmetičko odstupanje profila ( $R_a$ ) te srednje kvadratno odstupanje profila hrapavosti ( $R_q$ ).



Slika 50. Mjerenje hrapavosti uređajem s pomičnim ticalom



Slika 51. Parametri hrapavosti

Na pjeskarenim i sačmarenim uzorcima odrađeno je po 7 mjerenja, mjenjajući orijentaciju ticala po podlozi, a rezultati mjerenja prikazani su u tablicama 10 i 11.

Tablica 10. Rezultati mjerenja na pjeskarenim uzorcima

| Abraziv                 | Kvarcni pijesak |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         | Mjerenje        | 1.     | 2.     | 3.     | 4.     | 5.     | 6.     | 7.     |
| $R_z$ ( $\mu\text{m}$ ) |                 | 58,696 | 53,722 | 56,310 | 59,864 | 52,091 | 56,771 | 58,267 |
| $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) |                 | 10,933 | 11,346 | 10,611 | 11,780 | 10,045 | 10,753 | 10,982 |
| $R_q$ ( $\mu\text{m}$ ) |                 | 13,500 | 13,797 | 13,092 | 14,322 | 12,510 | 13,346 | 13,863 |

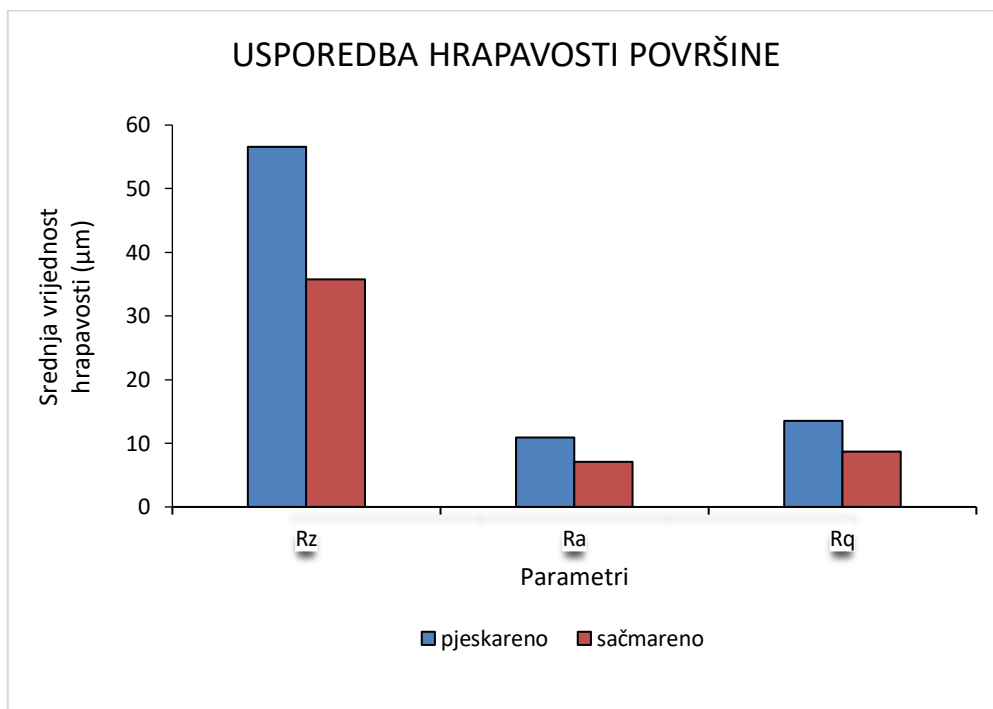
Tablica 11. Rezultati mjerenja na sačmarenim uzorcima

| Abraziv                 | Čelična sačma |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         | Mjerenje      | 1.     | 2.     | 3.     | 4.     | 5.     | 6.     | 7.     |
| $R_z$ ( $\mu\text{m}$ ) |               | 36,895 | 35,556 | 33,905 | 43,602 | 36,795 | 32,223 | 31,458 |
| $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) |               | 7,509  | 7,433  | 6,400  | 8,469  | 7,084  | 6,147  | 6,851  |
| $R_q$ ( $\mu\text{m}$ ) |               | 9,192  | 8,963  | 7,893  | 10,317 | 8,785  | 7,374  | 8,209  |

Na slici 52 prikazan je grafikon usporedbe prosječnih vrijednosti rezultata parametara hrapavosti površine za pjeskareni i sačmareni uzorak. Iz rezultata zaključujemo kako je hrapavost površine



tretirane postupkom pjeskarenja veća u odnosu na hrapavost površine pripremane postupkom sačmarenja.



Slika 52. Graf usporedbe hrapavosti površine

### 13.5. MJERENJE TVRDOĆE PREMAZA

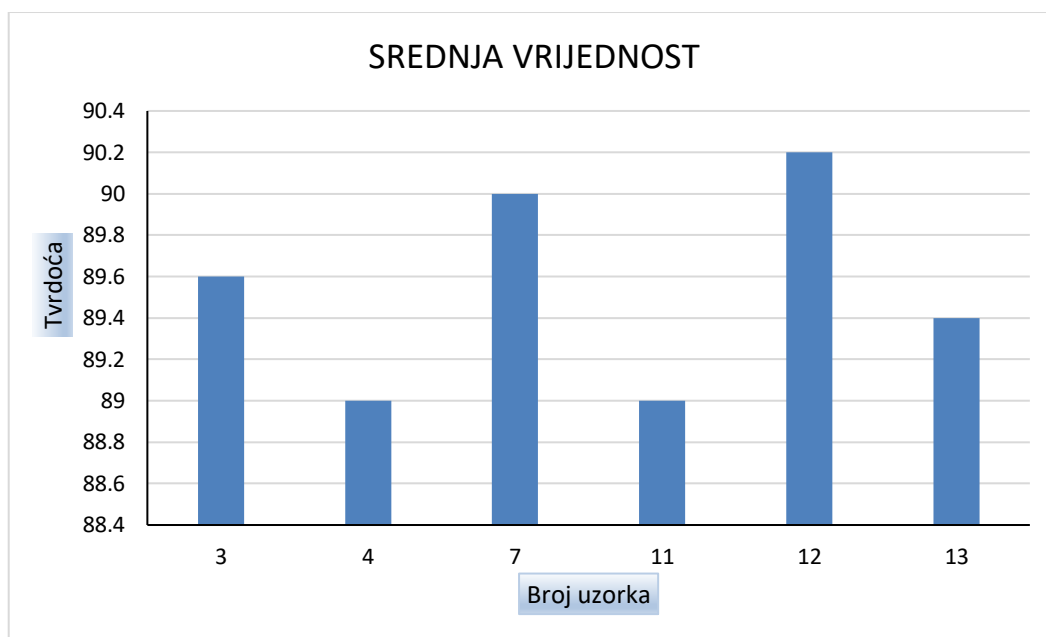
Tvrdoća premaza ispitana je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za zaštitu materijala shore D metodom uz pomoć uređaja „PosiTector“ prikazanog na slici 53. Ispitivanje tvrdoće izvodilo se na tri pjeskarena uzorka (uzorci pod brojem 3,4 i 7) i tri sačmarena uzorka (uzorci pod brojem 11,12 i 13) na pet nasumičnih točaka. U tablici 12 prikazane su izmjerene vrijednosti tvrdoće a na slici 54 dan je grafički prikaz srednjih vrijednosti izmjerenih tvrdoća na pojedinom uzorku.



Slika 53. Mjerenje tvrdoće premaza uz pomoć uređaja „PosiTector“

Tablica 12. Rezultati izmjerene tvrdoće

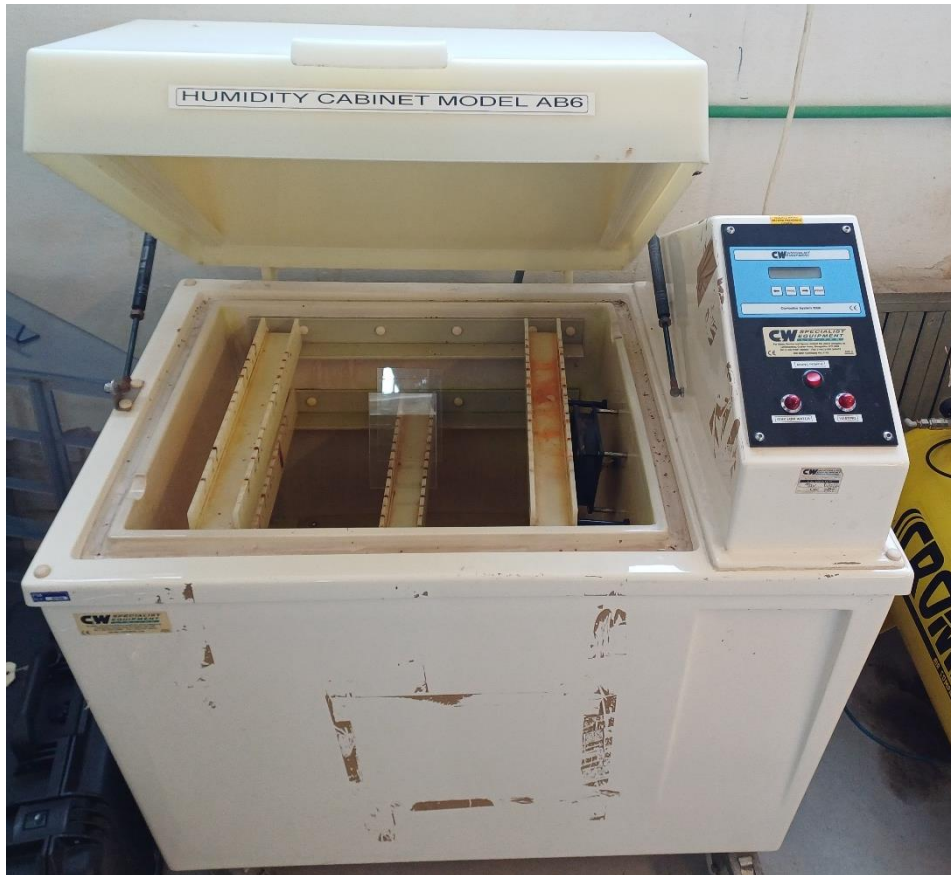
| Uzorak | Broj mjerenja |    |    |    |    | Srednja vrijednost |
|--------|---------------|----|----|----|----|--------------------|
|        | 1             | 2  | 3  | 4  | 5  |                    |
| 3      | 90            | 89 | 89 | 90 | 90 | 89,6               |
| 4      | 89            | 90 | 89 | 89 | 88 | 89                 |
| 7      | 90            | 89 | 91 | 90 | 90 | 90                 |
| 11     | 88            | 90 | 90 | 88 | 89 | 89                 |
| 12     | 90            | 90 | 92 | 90 | 89 | 90,2               |
| 13     | 89            | 90 | 91 | 89 | 88 | 89,4               |



Slika 54. Grafički prikaz srednjih vrijednosti tvrdoća

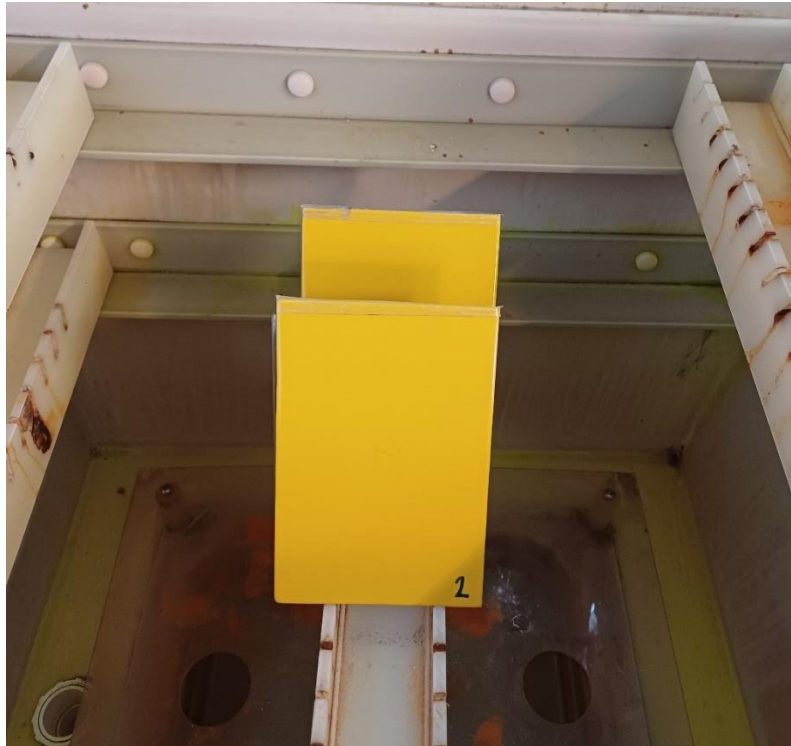
### 13.6. ISPITIVANJE U VLAŽNOJ KOMORI

Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori provodi se u svrhu ocijene ponašanja premaza na uzorcima u atmosferi zasićenoj vlagom uz aktivnost kondenzirane vode. Analiza je provedena na dva uzoraka. Na jednom uzorku površina je pripremljena postupkom pjeskarenja (uzorak 2), a na drugom uzorku postupkom sačmarenja (uzorak 14). Ispitivanje je provedeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za zaštitu materijala u vlažnoj komori „Humidity Cabinet Model AB6“ vidljivoj na slici 55. Prije izlaganja u vlažnoj komori, gornji rub uzoraka zaštićen je trakom.



Slika 55. Vlažna komora „Humidity Cabinet Model AB6“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Laboratorij za zaštitu materijala





Uzorci za ispitivanje zatim se postavljaju na stalak unutar komore sa odgovarajućim razmakom kako je prikazano na slici 56 kako bi se izbjegao kontakt površina ili slijevanje korozivskih produkata sa jednog uzorka na drugi.



Slika 56. Uzorci postavljeni u vlažnoj komori

Ispitivanje u vlažnoj komori provodi se prema normi HRN EN ISO 6270-2. Temperatura unutar komore iznosi  $40 \pm 3$  °C dok je relativna vlažnost zraka oko 100 %. U skladu sa navedenom normom, obzirom na atmosfersku kategoriju korozivnosti (C3) te zahtijevanoj trajnosti sustava premaza (H - 15 do 25 godina), trajanje ispitivanja iznosi 240 sati (10 dana). Nakon 240 sati, uzorci su izvađeni iz vlažne komore te su vizualno pregledani. Potom su ostavljeni na sušenje u trajanju od 24 sata, te je uslijedio test prionjivosti. U tablici 13 dan je usporedni prikaz uzoraka prije i nakon izlaganja u vlažnoj komori.

Tablica 13. Usporedni prikaz uzoraka prije i nakon izlaganja u vlažnoj komori

| UZORAK         | PRIJE IZLAGANJA  | NAKON IZLAGANJA   | REZULTAT   |
|----------------|--|---|--|
| 2 – pjeskareno |   |   | Nakon izlaganja u vlažnoj komori nisu uočeni korozijski produkti |
| 14 – sačmareno |  |  | Nakon izlaganja u vlažnoj komori nisu uočeni korozijski produkti |

Analiza uzoraka nakon ispitivanja u vlažnoj komori provodi se prema normi HRN EN ISO 4628- 3. Obzirom da na uzorcima nisu primijećene promjene te da nema pojave korozijskih produkata, ocjena korozivnosti prema navedenoj normi iznosi  $R_i=0$ , iz čega slijedi kako niti jedan dio površina ispitivanih uzoraka nije pogođen korozijom.

### 13.7. ISPITIVANJE U SLANOJ KOMORI

Ispitivanje uzoraka u slanoj komori provodi se u svrhu pregleda ponašanja premaza na uzorcima u morskoj atmosferi. Analiza je provedena na ukupno šest uzoraka. Na tri uzorka (3, 4 i 7) površina je pripremljena postupkom pjeskarenja, a na preostala tri uzorka (11, 12, 13) postupkom sačmarenja. Ispitivanje je provedeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za zaštitu materijala u slanoj komori „DongGuan HongTuo Instrument Co.,Ltd“ prikazanoj na slici 57. Prije izlaganja u slanoj komori, gornji rub uzoraka zaštićen je trakom dok je na dnu svakog uzorka napravljen urez duljine 50 mm i širine 0,2 mm kako je prikazano na slici 58.



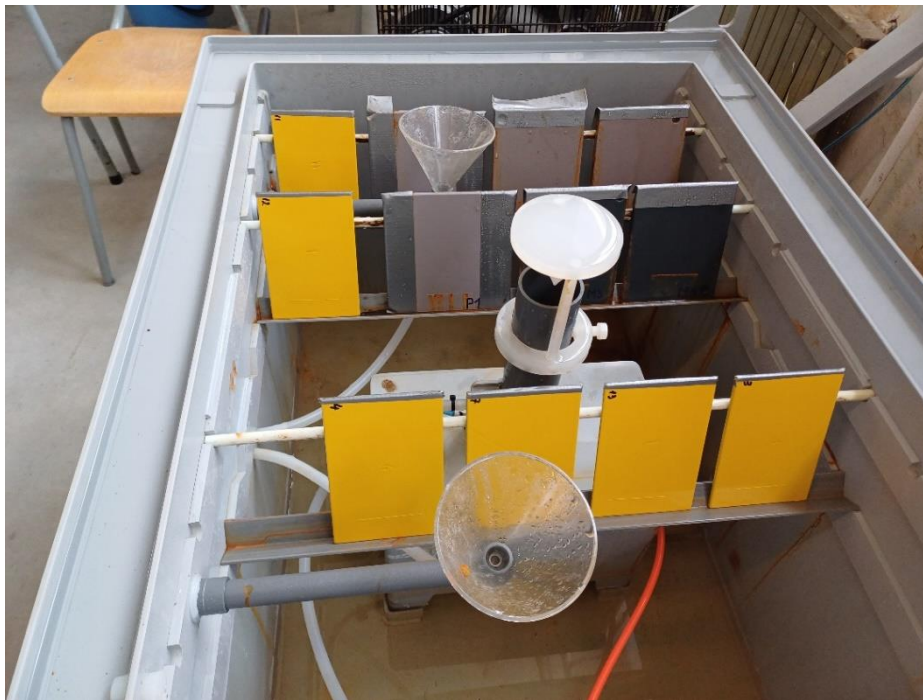
Slika 57. Slana komora „DongGuan HongTuo Instrument Co.,Ltd“ Fakultet strojarstva i brodogradnje, Laboratorij za zaštitu materijala



**Slika 58. Priprema uzoraka**

Uzorci za ispitivanje zatim se postavljaju na stalak unutar komore sa odgovarajućim razmakom kako je prikazano na slici 59 kako bi se izbjegao kontakt površina ili slijevanje korozivskih produkata sa jednog uzorka na drugi.













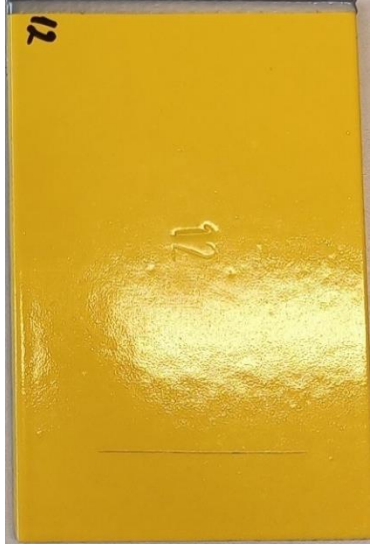



Slika 59. Uzorci postavljeni unutar slane komore

Ispitivanje u slanoj komori provodi se prema normi HRN EN ISO 9227. Unutar komore, uzorci su izloženi 5 %-toj otopini NaCl pri temperaturi od  $35\pm 2$  °C. U skladu sa navedenom normom, obzirom na atmosfersku kategoriju korozivnosti (C3) te zahtijevanoj trajnosti sustava premaza (H - 15 do 25 godina), trajanje ispitivanja iznosi 480 sati (20 dana). Nakon 480 sati, uzorci su izvađeni iz slane komore te su vizualno pregledani. Potom su ostavljeni na sušenje u trajanju od 24 sata, kako bi se pristupilo fizikalnim ispitivanjima premaza ispitivanjem prionjivosti kroz dvije metode; metodom urezivanja mrežice i vlačnom metodom. U tablici 14 dan je usporedni prikaz pjeskarenih uzoraka prije i nakon izlaganja u slanoj komori, a u tablici 15 usporedni prikaz sačmarenih uzoraka prije i nakon izlaganja u slanoj komori.

Tablica 14. Usporedni prikaz pjeskarenih uzoraka prije i nakon izlaganja u slanoj komori

| UZORAK            | PRIJE IZLAGANJA   | NAKON IZLAGANJA  | REZULTAT  |
|-------------------|---|--|---|
| 3 –<br>pjeskareno |    |    | Na uzorku je vidljiva pojava četiri mjehura oko ureza. Na površini dalje od ureza nema vidljive korozije. |
| 4 –<br>pjeskareno |   |   | Na uzorku je vidljiva pojava tri mjehura oko ureza. Na površini dalje od ureza nema vidljive korozije.    |
| 7 –<br>pjeskareno |  |  | Na uzorku je vidljiva pojava tri mjehura oko ureza. Na površini dalje od ureza nema vidljive korozije.    |

Tablica 15. Usporedni prikaz sačmarenih uzoraka prije i nakon izlaganja u slanoj komori

| UZORAK            | PRIJE IZLAGANJA   | NAKON IZLAGANJA  | REZULTAT  |
|-------------------|---|--|---|
| 11 –<br>sačmareno |    |    | Na uzorku je uz urez primjetno korodiranje te se oko ureza javilo devet mjehura. Na površini dalje od ureza nema vidljive korozije. |
| 12 –<br>sačmareno |   |   | Na uzorku je uz urez primjetno korodiranje te se oko ureza javilo deset mjehura. Na površini dalje od ureza nema vidljive korozije. |
| 13 -<br>sačmareno |  |  | Na uzorku je uz urez primjetno korodiranje te se oko ureza javilo devet mjehura. Na površini dalje od ureza nema vidljive korozije. |

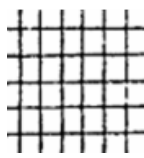
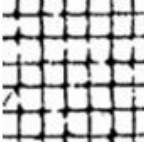
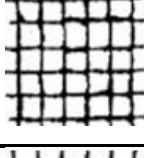
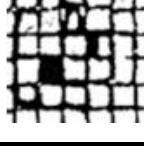
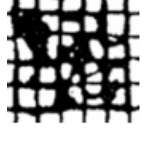
### 13.8. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI UREZIVANJEM MREŽICE

Postupak ispitivanja prionjivosti premaza urezivanjem mrežice (eng. Cross-cut test) provodi se prema normi HRN EN ISO 2409:2013 urezivanjem mreže jednolikih kvadratića na premaz pod pravim kutom. Urezivanje se obavlja korištenjem skalpela kako bi se oblikovala mreža od 25 kvadratića urezivajući pet horizontalnih i pet vertikalnih linija pod pravim kutom. Urezivanje se odvija ravnomjernom brzinom, tako da urezi dosegnu podlogu, ali ne prodru duboko u nju uz pomoć etalona prikazanog na slici 59 koji na sebi ima različite skupine proreza. Odabir udaljenosti između proreza definirana je navedenom normom, a ovisi o debljini premaza. Nakon urezivanja, mrežica se postepeno četka te se na nju zalijepi ljepljiva vrpca koja se potom pod kutem od 60° naglim pokretom odlijepi. Na kraju ispitivanja mrežica se uspoređuje sa standardnom skalom iz navedene norme prikazanoj u tablici 16 te se potom evaluiraju rezultati prionjivosti premaza.



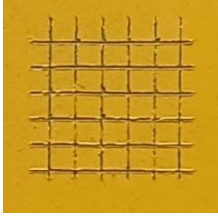
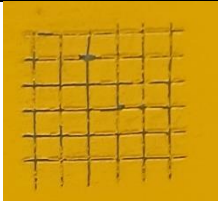
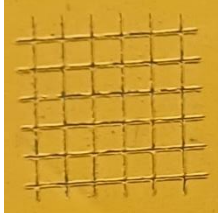

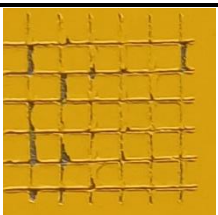

Slika 60. Etalon za urezivanje ureza

Tablica 16. Tablica za ocijenu prionjivosti prema normi HRN EN ISO 2409:2013

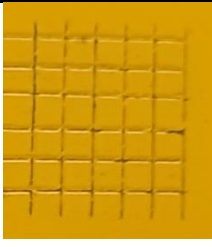
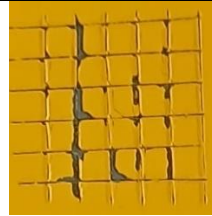
| OPIS  | OCJENA PRIONJIVOSTI | SKICA   |
|---|---------------------|---|
| Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut  | 0                   |    |
| Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5 % površine je oštećeno                             | 1                   |    |
| Dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici, 5 do 15 % površine je oštećeno                        | 2                   |    |
| Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15 do 35 % površine je oštećeno                        | 3                   |   |
| Premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni, 35 do 65 % površine je oštećeno | 4                   |  |
| Više od 65 % površine je oljušteno  | 5                   | -   |

Ispitivanje prionjivosti urezivanjem mrežice provedeno je na uzorcima koji su bili izloženi u vlažnoj i slanoj komori. U tablici 17 prikazana je ocjena prionjivosti premaza na uzorcima koji su bili u slanoj komori, a u tablici 18 na ispitnim uzorcima koji su bili u vlažnoj komori.

Tablica 17. Ocjena prionjivosti premaza na uzorcima izloženima u slanoj komori

| UZORAK         | SLIKA   | OCJENA PRIONJIVOSTI<br>PREMA NORMI: HRN EN<br>ISO 2409:2013 |
|----------------|---|---|
| 3 – pjeskareno |    | 1   |
| 4 – pjeskareno |    | 1   |
| 7 – pjeskareno |   | 1   |
| 11 – sačmareno |  | 2   |
| 12 – sačmareno |  | 2   |
| 13 – sačmareno |  | 2   |

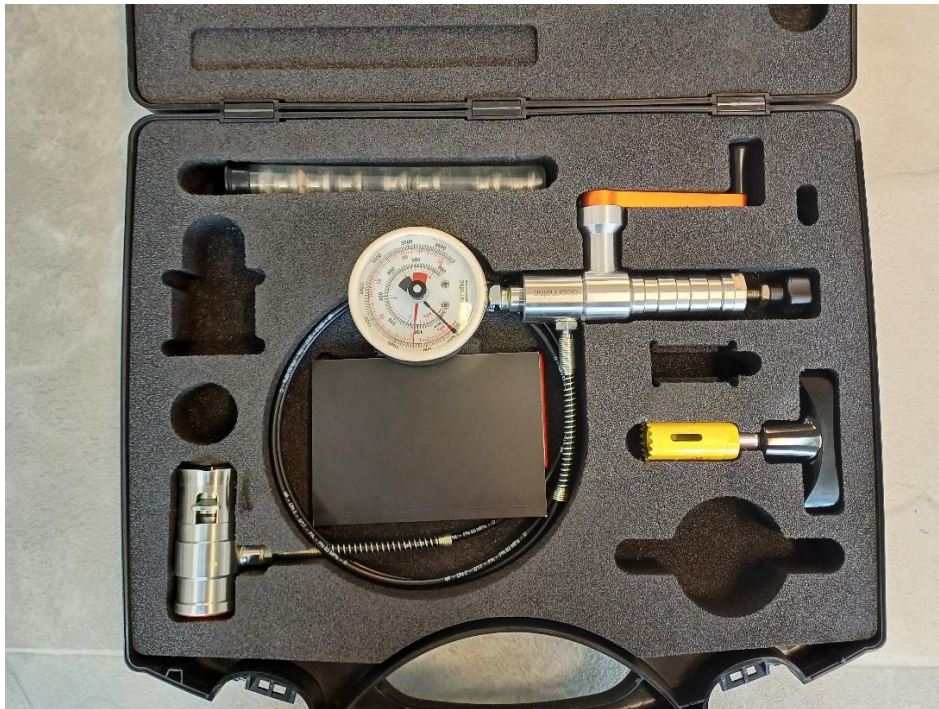
**Tablica 18. Ocjena prionjivosti premaza na uzorcima izloženima u vlažnoj komori**

| UZORAK         | SLIKA   | OCJENA PRIONJIVOSTI<br>PREMA NORMI: HRN EN<br>ISO 2409:2013 |
|----------------|---|---|
| 2 – pjeskareno |  | 1   |
| 14 – sačmareno |  | 3   |

### 13.9. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI VLAČNOM METODOM

Metoda povlačenja premaza, poznata kao Pull-off test, najčešće je korištena metoda za ispitivanje prijanjanja premaza na površinu. Pull-off test temelji se na mjerenju sile potrebne za odvajanje metalnog valjka koji je zalijepljen na površinu, a s ciljem definiranja veličine adhezijske sile dovoljne za odvajanje sloja premaza.

Ispitivanje je provedeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za zaštitu materijala uz pomoć uređaja „Elcometer 506“ prikazanog na slici 61. Valjak se trenutnim ljepilom pričvrsti na suhi premaz nakon čega je potrebno čekati 24 sata kako bi ljepilo otvrdnulo. Zatim se uređaj pričvrsti na valjak te se putem ručice povećava sila sve dok se valjak ne odvoji od površine. Prilikom odvajanja valjka od površine, bilježi se sila. Slika 62 prikazuje postupak ispitivanja.



Slika 61. Elcometer 506









Slika 62. Postupak ispitivanja prionjivosti vlačnom metodom

Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom provedeno je na uzorcima koji su bili izloženi u vlažnoj i slanoj komori. U tablicama 19 i 20 prikazani su rezultati ispitivanja na ispitanim uzorcima, a slika 63 prikazuje graf usporednih srednjih vrijednosti vlačnog testa za pjeskarenu i sačmarenu površinu.

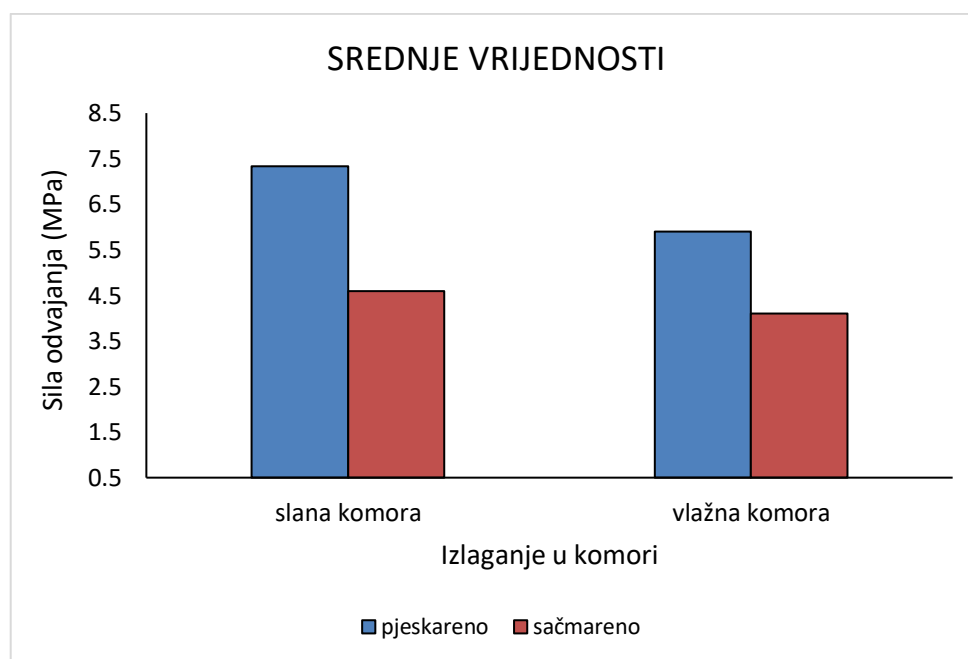


Tablica 19. Rezultati ispitivanja na uzorcima iz slane komore

| UZORAK         | KOMORA                                       | SLIKA  | IZMJERENA<br>VRIJEDNOST<br>(MPa) |
|----------------|--|--|----------------------------------|
| 3 – pjskareno  | Izlaganje u slanoj komori u trajanju od 480h |    | 5,9                              |
| 4 – pjskareno  | Izlaganje u slanoj komori u trajanju od 480h |    | 6,2                              |
| 7 – pjskareno  | Izlaganje u slanoj komori u trajanju od 480h |   | 9,9                              |
| 11 – sačmareno | Izlaganje u slanoj komori u trajanju od 480h |  | 5,0                              |
| 12 – sačmareno | Izlaganje u slanoj komori u trajanju od 480h |  | 4,8                              |
| 13 – sačmareno | Izlaganje u slanoj komori u trajanju od 480h |  | 4,0                              |

Tablica 20. Rezultati ispitivanja na uzorcima iz vlažne komore

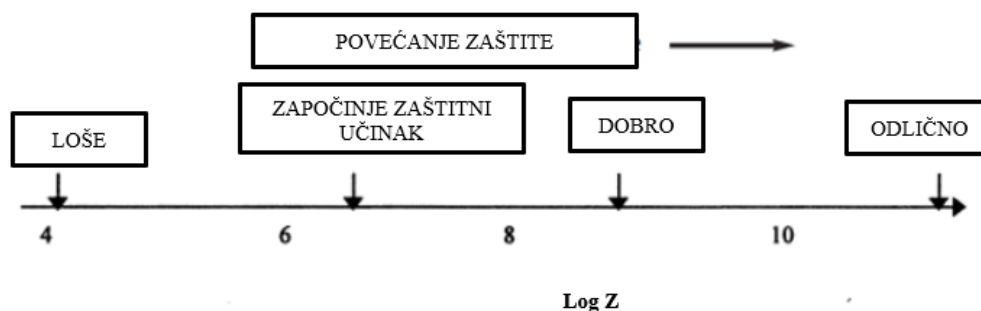
| UZORAK         | KOMORA  | SLIKA  | IZMJERENA VRIJEDNOST (MPa) |
|----------------|---|--|----------------------------|
| 2 – pjskareno  | Izlaganje u vlažnoj komori u trajanju od 240h |  | 5,9                        |
| 14 – sačmareno | Izlaganje u vlažnoj komori u trajanju od 240h |  | 4,1                        |



Slika 63. Graf usporednih srednjih vrijednosti prionjivosti za pjskarene i sačmarene površine

### 13.10. ELEKTROKEMIJSKA IMPEDANCIJSKA SPEKTROSKOPIJA

Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS) je metoda ispitivanja korozivskih procesa korištenjem izmjenične struje (AC). EIS ima široku primjenu u istraživanju korozije, omogućujući procjenu brzine korozije prilikom analize inhibitora i premaza. Za razliku od elektrokemijskih tehnika koje koriste istosmjernu (DC) struju i mogu narušiti sustav, EIS s AC strujom ne uzrokuje takve promjene. Zbog toga se preferira korištenje EIS metode u istraživanjima reakcija na granici faza [8]. Nakon provedene elektrokemijske impedancijske spektroskopije, rezultati mogu biti obrađeni i prezentirani na raznovrsne načine. Svaki od prikaza posjeduje određene prednosti prilikom definiranja karakteristika elektrokemijskog sustava. Analizom svih dostupnih grafičkih oblika može se bolje razumjeti ponašanje stvarnog elektrokemijskog sustava. Nyquistov i Bodeov dijagram su dva najčešće korištena načina prikaza rezultata elektrokemijske impedancijske spektroskopije. Skala otpora premaza, prikazana na slici 64, često se koristi u elektrokemijskoj impedancijskoj spektroskopiji jer pruža uvid u kvalitetu premaza na osnovu njihove otpornosti na električnu struju. Općenito, kvalitetni premazi imaju visok otpor ( $>10^8$ ), dok loši premazi pokazuju nizak otpor ( $<10^6$ ).



Slika 64 Skala otpora premaza [53]

Elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom ispitivan je otpor premaza na jednom uzorku pripremljenom postupkom pjeskarenja te na jednom uzorku pripremljenom postupkom sačmarenja. Navedena mjerenja izvršena su na uređaju VersaSTAT 3 koji je prikazan na slici 65, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za zaštitu materijala.

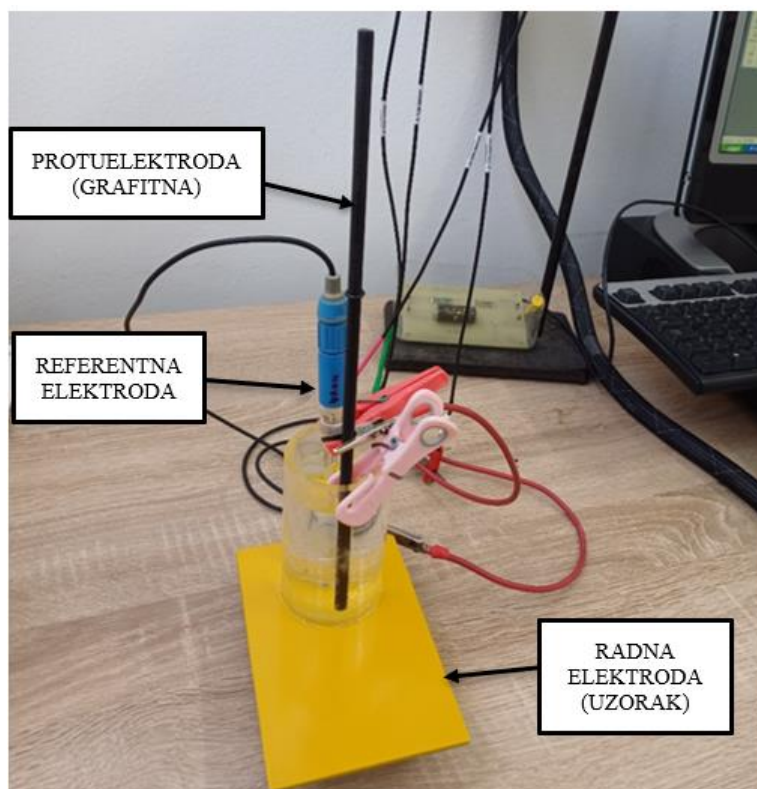


Slika 65. VersaSTAT 3 uređaj

Pripremljeni uzorci bili su izloženi djelovanjem 3,5 %-tne otopine NaCl pri sobnoj temperaturi tijekom 240 sati (10 dana). Otpor elektrolita izmjeren je ranije i iznosi 36  $\Omega$ , što ga čini gotovo beznačajnim u odnosu na ostale otpore, a parametri ispitivanja navedeni su u tablici 21. Prilikom ispitivanja, upotrebljava se referentna KCl elektroda, čiji potencijal prema standardnoj vodikovoj elektrodi iznosi +0,242 V, a za protuelektrodu korištena je ugljikova elektroda. Aparatura i jedan od uzoraka na kojemu je ispitivano mjerenje prikazani su na slici 66.

Tablica 21. Parametri mjerenja

| PARAMETAR   | VRIJEDNOST |
|---|------------|
| Raspon frekvencije, Hz                              | 0,1-10000  |
| Površina ispitivanog dijela uzorka, cm <sup>2</sup> | 19,625     |
| Amplituda, mV                                       | 100        |
| Gustoća materijala uzorka, g/ml                     | 7,84       |
| Ekvivalentna masa, g                                | 27,92      |

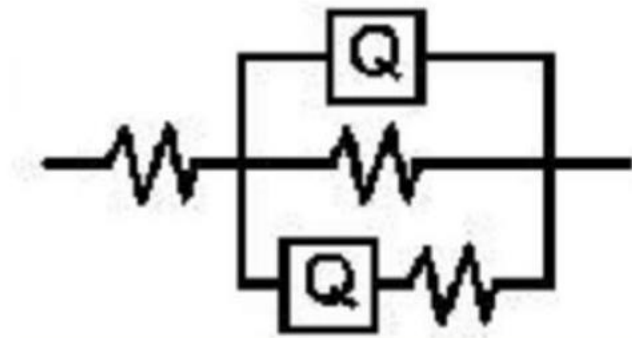


Slika 66. Aparatura za mjerenje

Prije mjerenja impedancije, prethodilo je mjerenje vrijednosti potencijala otvorenog kruga, a rezultati su prikazani u tablici 22. Rezultati analize prikazani su uz pomoć programa ZsimpWin, a kako bi se mogli tumačiti, obzirom na sustav premaza, odabran je odgovarajući električni model prikazan na slici 67. Tablice 23. i 24. prikazuju Bodeove i Nyquistove dijagrame za odgovarajuće uzorke.

Tablica 22. Rezultati metode otvorenog strujnog kruga

| UZORAK     | OTOPINA    | $E_{kor}$ , mV |
|------------|------------|----------------|
| Pjeskareni | 3,5 % NaCl | - 417.73       |
| Sačmareni  | 3,5 % NaCl | - 565.56       |

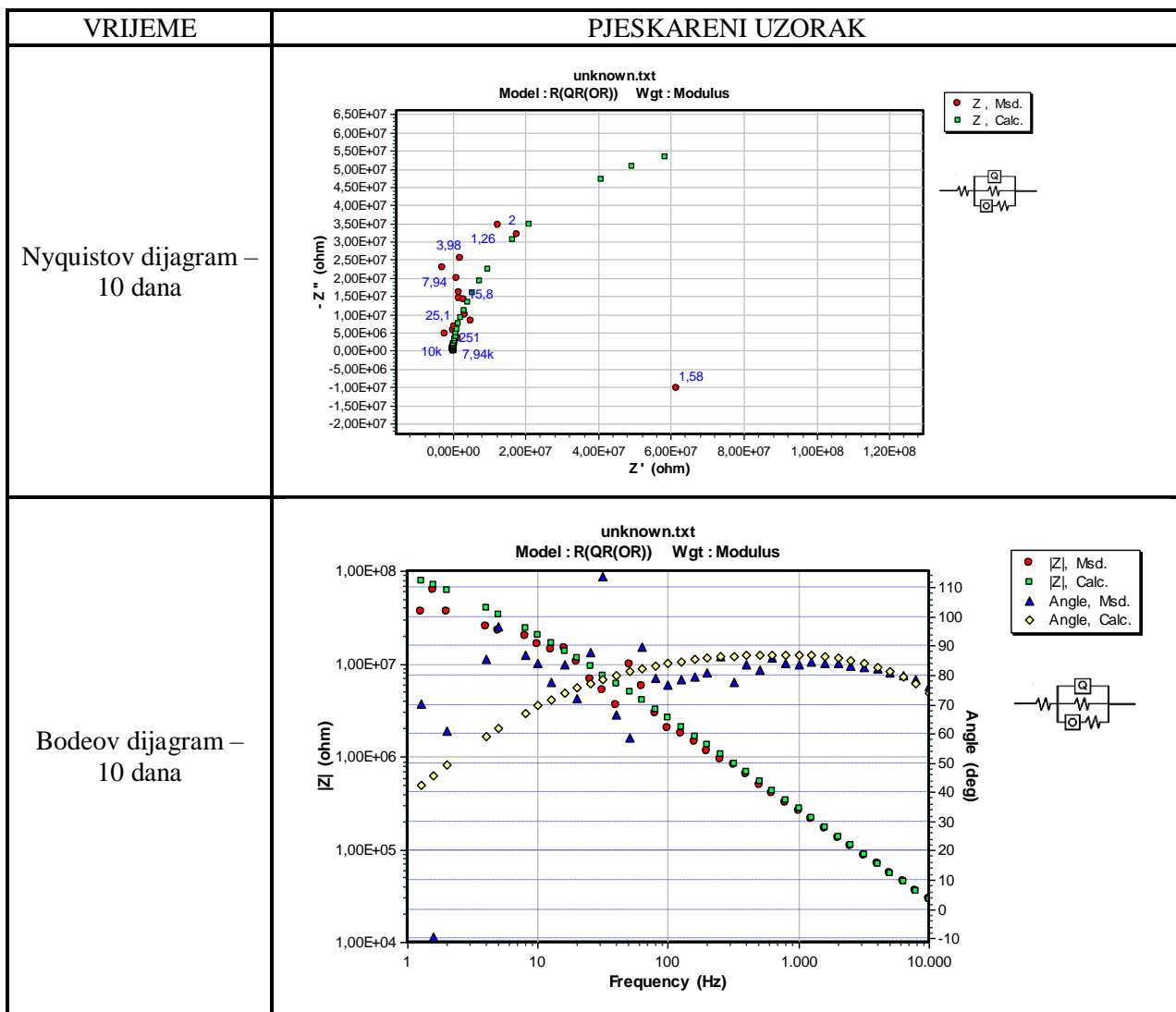


Slika 67. Ekvivalentni električni krug za ispitivane uzorke

Tablica 23 Dijagrami za sačmaren uzorak

| VRIJEME                             | SAČMARENI UZORAK |
|-------------------------------------|------------------|
| <p>Nyquistov dijagram - 10 dana</p> |                  |
| <p>Bodeov dijagram - 10 dana</p>    |                  |

Tablica 24 Dijagrami za pjeskaren uzorak



Rezultati elektrokemijske impedancijske spektroskopije prikazani su u tablici 25 i 26.

U prikazanim tablicama koriste se sljedeće oznake:

- $R_1$  - otpor elektrolita
- $R_2$  - otpor premaza
- $R_3$  - polarizacijski otpor
- $C_1$  - kapacitet premaza
- $C_2$  - kapacitet dvosloja
- $\Sigma R$  - ukupna vrijednost otpora

**Tablica 25      Rezultati impedancije za sačmaren uzorak**

| VRIJEME | $R_1, \Omega\text{cm}^2$ | $C_1, \text{F/cm}^2$ | $R_2, \Omega\text{cm}^2$ | $C_2, \text{F/cm}^2$ | $R_3, \Omega\text{cm}^2$ | $\Sigma R, \Omega\text{cm}^2$ |
|---------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 10 dana | 36                       | $1,523 * 10^{-8}$    | $6,967 * 10^6$           | $9,745 * 10^{-9}$    | $5,641 * 10^7$           | $6,338 * 10^7$                |

**Tablica 26      Rezultati impedancije za pjeskareni uzorak**

| VRIJEME | $R_1, \Omega\text{cm}^2$ | $C_1, \text{F/cm}^2$ | $R_2, \Omega\text{cm}^2$ | $C_2, \text{F/cm}^2$ | $R_3, \Omega\text{cm}^2$ | $\Sigma R, \Omega\text{cm}^2$ |
|---------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 10 dana | 36                       | $1,700 * 10^{-9}$    | $3,843 * 10^8$           | $7,279 * 10^{-8}$    | $5,745 * 10^8$           | $9,588 * 10^8$                |

Uspoređujući rezultate ukupnih otpora nakon elektrokemijske impedancijske spektrometrije sa skalom prikazanom na slici 64, zaključuje se kako premaz na uzorku koji je pripremljen postupkom pjeskarenja smatra odličnim jer mu je vrijednost otpora  $>10^8 \Omega\text{cm}^2$ , a sačmaren uzorak smatra se dobrim jer mu se vrijednost otpora nalazi u rasponu  $10^7 - 10^8 \Omega\text{cm}^2$ .



## 14. ZAKLJUČAK

Antikorozivna zaštita organskim premazima predstavlja ključni korak u očuvanju materijala od štetnih učinaka korozije, te je zbog toga široko prihvaćena i primjenjivana metoda. Međutim, ključni faktor uspješne zaštite je temeljita priprema površine prije nanošenja premaza. Kvaliteta premaza, njegova prionjivost te trajnost ovise o čistoći, glatkoći i stanju površine. Stoga je važno istaknuti kako odabir odgovarajuće metode pripreme površine ima presudan utjecaj na kvalitetu zaštite. Odabir metode temelji se na materijalu koji se obrađuje, vrsti premaza koji će se nanositi, kao i specifičnim zahtjevima projekta.

Iako su rezultati eksperimentalnog dijela rada pokazali kako je premazni sustav korišten na industrijskom postrojenju iz tehnologije ovog rada zadovoljavajućih fizikalnih svojstava i na pjeskarenoj i na sačmarenjnoj površini, ipak premazni sustav na uzorcima čija je površina pripremljena postupkom pjeskarenja sa parametrima navedenim u ovom radu, pokazao se boljim.

Test urezivanja mrežice i test prionjivosti vlačnom metodom pokazali su kako je prionjivost premaza na pjeskarenoj površini bolja u odnosu na prionjivost na sačmarenjnoj površini.

Izlaganje uzoraka u slanoj komori pokazalo je kako je oko ureza na sačmarenim uzorcima vidljiva pojava korozijskih produkata za razliku od uzoraka pripremljenih postupkom pjeskarenja gdje to nije slučaj. Mjehuranje oko ureza intenzivnije je na sačmarenim uzorcima u odnosu na pjeskarene. Ni na jednom od uzoraka nema korozijskih produkata na ostatku površine niti širenja korozije ispod ureza. Ispitivanje u vlažnoj komori pokazalo je kako na uzorcima nisu primijećene promjene te nije došlo do pojave korozijskih produkata

Ispitivanje elektrokemijske impedancijske spektroskopije pokazalo je veću otpornost premaza na pjeskarenoj površini.

Iz svega navedenog, može se zaključiti kako je u tehnologiji ovog rada odabran odgovarajući način pripreme površine za zaštitu postrojenja naznačenim sustavom premaza.

## 15. LITERATURA

- [1] Esih, I., Dugi, Z.: Tehnologija zaštite od korozije I, Školska knjiga Zagreb, 1990.
- [2] Juraga, I., Alar, V., Stojanović, I., Šimunović, V.: Korozija i metode zaštite od korozije, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
- [3] Esih, I.: Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [4] Rački-Weihnacht, N.: Boje i lakovi - jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.
- [5] Sastri, V.S., Ghali, E., Elboujdaini, M.: Corrosion prevention and protection: Practical solution, 2007.
- [6] <http://chemblinks.blogspot.com/2014/04/corrosion-forms.html>, pristupio 14.4.2023.
- [7] Jones, D.A.: Principles and prevention of corrosion, New Jersey, 1996.
- [8] Juraga, I., Alar, V., Stojanović, I.: Korozija i zaštita premazima, Zagreb, 2014.
- [9] During E.D., Corrosion atlas: A collection of illustrated case histories, Elsevier Science, Amsterdam, 1997.
- [10] Alar, V.: Kemijska postojanost metala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [11] Šimunović, V., Stojanović, I., Juraga I.: Zavarivanje Cr-Ni čelika, korozijska postojanost, rukovanje, Pula, 2007.
- [12] Bilić, L.: (2019) *Katodna zaštita austenitnog nehrđajućeg čelika u kloridnim otopinama* (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2  
Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:425651> , pristupio 7.5.2023.
- [13] <https://www.heartlandrepaircoatings.com/top-5-causes-of-pitting-corrosion/>, pristupio 9.5.2023.
- [14] Pongrac, M. (2018). *Mjere za zaštitu od korozije prema normi HRN EN 1090-2* (Završni rad). Koprivnica: Sveučilište Sjever. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:754048>, pristupio 9.5.2023
- [15] Lovrenčić, L. (2019). *Nehrdajući čelik - zavarivanje i naknadne površinske obrade* (Završni rad). Koprivnica: Sveučilište Sjever. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:165015>, pristupio 9.5.2023
- [16] Jones, D.A.: Principles and Prevention of Corrosion, New Jersey, 1996.
- [17] Juraga, I., Šimunović, V., Stojanović, I., Alar, V.: Mehanizmi zaštite od korozije, autorizirana predavanja, Zagreb, 2012.
- [18] Marcus, P., Oudar, J.; Corrosion mechanisms in theory and practice, 1995.
- [19] Øystein Knudsen, O., Forsgren, A.: Corrosion Control Through Organic Coatings, CRC Press 2017.

- [20] Mellor, B.G.: Surface coatings for protection against wear, CRC Press Boca Raton Boston New York Washington, DC, 2006.
- [21] Sander, J., Kirmaier, L., Manea, M., Shchukin, D., Skorb, E., Vincentz Network GmbH & Co KG, Hannover, Germany, 2010.
- [22] Knudsen, O., Forsgren, A.: Corrosion Control Through Organic Coating, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.
- [23] Prenosil, M.: Volatile Corrosion Inhibitor Coatings, Supplement to Materials Performance, 2001.
- [24] Rački-Weihnacht, N.: Boje i lakovi - jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.
- [25] Despot, N., Rajhenbah, D.: Korozija i zaštita procesnih postrojenja, Zagreb, 1995.
- [26] <https://www.elcometer.com/de/preparing-the-surface-for-coating>, pristupio 4.12.2023.
- [27] <https://hr.panwinjet.com/news/water-jet-cleaning-an-effective-cleaning-solution>, pristupio 4.12.2023.
- [28] U.S. Department of Health, Education and Welfare: Abrasive Blasting Operations, Washington, 1976.
- [29] <https://www.groupebellemare.com/en/blog/blast-cleaning-surface-preparation-sandblast/>, pristupio 10.12.2023
- [30] Miketić, B. (2017). *Utjecaj pripreme površine na prionjivost i potrošnju premaza* (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Preuzeto s <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb:4000>, pristupio 12.12.2023.
- [31] Joseph, M. Bruno Jr., Peart, J.: Evaluation of the Effectiveness of Wet Blast Cleaning Methods of Surface Preparation, 1985.
- [32] <https://www.vapormatt.com/news/what-wet-blasting>, pristupio 11.12.2023
- [33] <https://www.macoho.com/wetblast.html>, pristupio 11.12.2023
- [34] <https://roslerblog.com/2021/02/02/wet-blasting-technology-part-3-technical-features-slurry-control-achieve-precise-finishing/>, pristupio 11.12.2023
- [35] <https://proactivesafetyservices.com/resources/dangers-associated-sand-blasting/>, pristupio 13.12.2023
- [36] <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/527215/1/CR19083N.pdf>, pristupio 13.12.2023
- [37] <https://olx.ba/artikal/28749101/kvarcni-pijesak-za-pjeskarenje>, pristupio 13.12.2023
- [38] <http://bonocom.hr/abrazivi/>, pristupio 14.12.2023.
- [39] <https://v3.olx.ba/artikal/33327840>, pristupio 14.12.2023.
- [40] [https://www.ivje.hr/index.php/component/content/article/19-priprema-povrsine/76-ponuda-](https://www.ivje.hr/index.php/component/content/article/19-priprema-povrsine/76-ponuda)

opreme-za-sacmarenje , pristupio 14.12.2023.

[41] <https://straaltechniek.net/en/wheelblasting-machines/roller-conveyor/> , pristupio 17.12.2023.

[42]<https://medium.com/@15890165848/high-purity-95-al2o3-brown-fused-alumina-powder-for-polishing-50e833ca2a82> , pristupio 17.12.2023

[43] <https://www.artificialabrasives.com/> , pristupio 17.12.2023

[44] <https://www.keyabrasives.co.uk/garnet-abrasive/> , pristupio 17.12.2023

[45] <https://top-alati.hr/> , pristupio 17.12.2023.

[46]<https://www.thomasnet.com/products/sodium-bicarbonate-abrasive-blast-materials-97004627-1.html> , pristupio 17.12.2023.

[47] Odabir odgovarajućeg sustava premaza: Smjernice za zaštitu u skladu sa ISO 12944, Hempel Coatings (Croatia) Ltd, Umag, Hrvatska.

[48] <https://pevex.hr/pneumatski-alat-pistolj-za-prskanje-boje-basic-305573> , pristupio 18.12.2023.

[49][https://sprayfinishingstore.com/spray\\_gun/airless-vs-air-paint-sprayer/#How\\_does\\_an\\_Air\\_Paint\\_Spray\\_Gun\\_Air\\_Atomicization\\_work](https://sprayfinishingstore.com/spray_gun/airless-vs-air-paint-sprayer/#How_does_an_Air_Paint_Spray_Gun_Air_Atomicization_work),pristupio 18.12.2023.

[50] <https://www.kansaialtan.com.tr/airless-spray-applications>, pristupljeno 18.12.2023.

[51] <https://intermaquinas.online/bs/producto/equipo-de-pintura-wagner-control-pro-250m/> , pristupljeno 18.12.2023.

[52] [https://horizonsupplycompany.com/products/denso-protal-7200-kit-1-001?pr\\_prod\\_strat=e5\\_desc&pr\\_rec\\_id=85c9e546f&pr\\_rec\\_pid=7797664186617&pr\\_ref\\_pid=7902159372537&pr\\_seq=uniform](https://horizonsupplycompany.com/products/denso-protal-7200-kit-1-001?pr_prod_strat=e5_desc&pr_rec_id=85c9e546f&pr_rec_pid=7797664186617&pr_ref_pid=7902159372537&pr_seq=uniform) , pristupljeno 18.12.2023.

[53] L.G.S Gray, A. Edmonton, B.R.Appleman: Electrochemical Impedance Spectroscopy, Pittsburgh, 2003.