

# Epoksidni premazi otporni na koroziju i mehaničko trošenje

---

**Kovačić, Tena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*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:235:550829>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-28**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tena Kovačić**

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Vinko Šimunović, dipl. ing.

Student:

Tena Kovačić

Zagreb, 2020.

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

Zahvaljujem se svojem mentoru doc. dr. sc. Vinku Šimunoviću, dipl. ing., izv. prof. dr. sc. Ivanu Stojanoviću, dipl. ing. i ostalim djelatnicima u Laboratoriju za zaštitu materijala na pomoći i korisnim savjetima te poticaju tijekom pisanja diplomskog rada.

Zahvaljujem se svim djelatnicima Laboratorija za tribologiju i Laboratorija za ljevarstvo na pomoći pri eksperimentalnom dijelu rada.

Zahvaljujem se gospodinu Ivanu Strelaru, dipl. ing. iz tvrtke ISEA d.o.o. što mi je osigurao svu potrebnu opremu i materijale za provedbu eksperimentalnog dijela rada.

Zahvaljujem se svojim roditeljima i obitelji, koji su mi omogućili školovanje i pružali mi veliku podršku tijekom studiranja.

Tena Kovačić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **TENA KOVAČIĆ** Mat. br.: **0035196781**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Epoksidni premazi otporni na koroziju i mehaničko trošenje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Epoxy coatings resistant to corrosion and mechanical wear**

Opis zadatka:

Konstrukcije izrađene od čelika tijekom eksploatacije izložene su mnogobrojnim štetnim utjecajima koji smanjuju njihovu iskoristivost i trajnost. Posebno se ističu štetna djelovanja korozijskih procesa i mehaničkog trošenja. Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija najčešće se provodi premazima, a ako je konstrukcija izložena i mehaničkom trošenju, primijenjeni premazi moraju biti otporni i na tu vrstu oštećivanja.

U radu je potrebno obraditi oblike korozijskog oštećivanja kao i mehanizme mehaničkog trošenja te zaštitu čeličnih konstrukcija premazima s posebnim osvrtom na epoksidne premaze koji se koriste za zaštitu od korozije, abrazije i erozije. Potrebno je detaljnije izučiti njihova svojstva, vrste i područje primjene.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je osmisliti i provesti laboratorijska ispitivanja korozijske otpornosti i otpornosti na mehaničko trošenje epoksi premaza nanijetog na čelične ispitne uzorke. Analizirati rezultate i izvesti zaključke.

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

Zadatak zadan:  
24. rujna 2020.

Rok predaje rada:  
26. studenog 2020.

Predviđeni datum obrane:  
30. studenog do 4. prosinca 2020.

Zadatak zadao:  
  
doc. dr. sc. Vinko Šimunović

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA .....	VII
POPIS OZNAKA I KRATICA .....	VIII
SAŽETAK .....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD .....	1
2. OBLICI KOROZIJSKOG OŠTEĆIVANJA .....	2
2.1. Opća korozija .....	2
2.2. Galvanska korozija .....	3
2.3. Korozija u procijepu .....	4
2.4. Rupičasta korozija (pitting) .....	4
2.5. Interkristalna korozija .....	5
2.6. Selektivna korozija .....	6
2.7. Erozijska korozija .....	6
2.8. Napetosna korozija .....	7
3. KOROZIJSKA ZAŠTITA ORGANSKIM PREMAZIMA .....	8
3.1. Sastavne komponente organskih premaza .....	9
3.1.1. Veziva .....	9
3.1.2. Otapala .....	9
3.1.3. Pigmenti .....	10
3.1.4. Punila .....	11
3.1.5. Aditivi .....	11
4. VRSTE POLIMERNIH VEZIVA ZA ORGANSKE PREMAZE .....	12
4.1. Sušiva ulja .....	12
4.2. Samooksidirajuće umrežene smole .....	13
4.3. Termoplastične smole .....	14

---

4.4.	Umrežene duromerne prevlake .....	15
4.4.1.	Fenolni premazi.....	16
4.4.2.	Uretanski premazi .....	18
4.4.3.	Poliuretanski premazi .....	19
5.	EPOKSIDNI PREMAZI .....	20
5.1.	Epoksidi .....	20
5.1.1.	Bisfenol-A smole .....	21
5.1.2.	Bisfenol-F smole .....	23
5.1.3.	Novolac smole.....	23
5.2.	Epoksidni katran ugljen .....	24
5.3.	Epoksi-fenolni premazi.....	25
5.4.	Tekući epoksidni premazi.....	26
5.5.	Površinski tolerantni premazi .....	27
5.6.	Dvokomponentni epoksidni premazi.....	28
5.7.	Epoksid ojačan staklenim vlaknima .....	29
5.8.	Epoksid ojačan keramičkim kuglicama .....	29
6.	PRIPREMA POVRŠINE PRIJE NANOŠENJA PREMAZA .....	31
6.1.	Kemijske metode čišćenja .....	31
6.1.1.	Odmašćivač.....	31
6.1.2.	Čišćenje parom.....	31
6.1.3.	Alkalno čišćenje .....	32
6.1.4.	Čišćenje hlapljivim otapalima.....	32
6.2.	Metode čišćenja ručnim ili električnim alatom.....	32
6.2.1.	Čišćenje ručnim alatom .....	32
6.2.2.	Čišćenje električnim alatom.....	33
6.3.	Metode čišćenja mlazom vode.....	34
6.4.	Metode čišćenja abrazivom .....	35
6.4.1.	Suho abrazivno pjeskarenje .....	35

---

6.4.2. Mokro abrazivno pjeskarenje.....	35
7. EKSPERIMENTALNI DIO.....	37
7.1. Priprema uzoraka.....	37
7.2. Mjerenje hrapavosti uzoraka.....	40
7.3. Nanošenje dvokomponentnih epoksidnih prevlaka na uzorke.....	41
7.4. Mjerenje debljine premaza.....	55
7.5. Ispitivanje fizikalnih svojstava premaza.....	56
7.5.1. Ispitivanje abrazijske otpornosti premaza metodom suhi pijesak / gumeni kotač..	57
7.5.2. Ispitivanje otpornosti premaza na erozijsko trošenje .....	62
7.5.3. Ispitivanje udarne otpornosti premaza .....	67
7.5.4. Pull – off ispitivanje .....	69
7.5.5. Ispitivanje tvrdoće prema Buchholzovom modelu 263.....	72
7.6. Ispitivanje svojstava korozijske otpornosti premaza u vlažnoj komori.....	76
7.7. Analiza eksperimentalnog dijela rada .....	82
8. ZAKLJUČAK.....	84
LITERATURA.....	86
PRILOZI .....	88



**POPIS SLIKA**

Slika 1.1. Zaštita čeličnih konstrukcija organskim premazima [3] .....	1
Slika 2.1. Korozija čelične pregrade u izmjenjivaču topline [5].....	3
Slika 2.2. Galvanska korozija [5] .....	3
Slika 2.3. Korozija u procijepu (ispod brtve) na prirubnici od nehrđajućeg čelika koja je izložena mediju bogatom kloridom [5] .....	4
Slika 2.4. Rupičasta korozija bakrene cijevi s vidljivim korozijskim produktima [5] .....	5
Slika 2.5. Morfologija interkristalne korozije unutar cjevovoda za vodu [5].....	5
Slika 2.6. Mikrografski izgled decinkacije mjedi [5] .....	6
Slika 2.7. Erozijsko-korozijska oštećenja tipa "potkovicica" u bakrenom cjevovodu [5] .....	6
Slika 2.8. Napetosa korozija visokolegiranog čelika [5] .....	7
Slika 4.1. Primjena drvnog ili tungovog sušivog ulja [13] .....	13
Slika 4.2. Jednadžba reakcije fenola i formaldehida pri čemu nastaje fenolna smola: a) reakcija pomoću lužnatog katalizatora, b) reakcija uporabom kiselog katalizatora [12] .....	17
Slika 4.3. Reakcija izocijanata i poliola kako bi se dobio uretan [12] .....	18
Slika 4.4. Razlika između poliuretanskih i poliurea smola: a) uretanska karika u poliuretanu, b) supstituirana veza uree u poliurei [12].....	19
Slika 5.1. Epoksidna skupina [12].....	20
Slika 5.2. Molekularna struktura bisfenol-A smole [17] .....	22
Slika 5.3. Jednadžba nastajanja diglicidil-eter epoksidne smole [12] .....	22
Slika 5.4. Molekularna struktura bisfenol-F epoksidne smole [12] .....	23
Slika 5.5. Molekularna struktura novolac smola: a) epoksi fenol novolac, b) epoksi krezol novolac [12].....	24
Slika 5.6. Tekući epoksidni premaz [18, 19] .....	26
Slika 5.7. Površinski otporan epoksidni premaz: a) zaštita spremnika, b) zaštita obalne strukture [20, 21].....	28
Slika 5.8. Cijevi od epoksida ojačanog staklenim vlaknima [22] .....	29
Slika 5.9. Unutrašnjost pumpe nakon premazivanja epoksidom, ojačanim s keramičkim kuglicama [24].....	30
Slika 6.1. Obrada površine parom prije nanošenja premaza [26] .....	32
Slika 6.2. Žičana četka [27] .....	33
Slika 6.3. Rotacijska žičana četka [27].....	33
Slika 6.4. Čišćenje površine mlazom vode [27].....	34
Slika 6.5. Čišćenje suhim abrazivom [27] .....	35

Slika 6.6. Čišćenje mokrim abrazivom [27] .....	36
Slika 7.1. Komora za pjeskarenje (lijevo) i postupak pjeskarenja (desno).....	38
Slika 7.2. Hrapavljenje površine uz pomoć brusnog papira .....	38
Slika 7.3. Nahrapavljeni uzorci prije nanošenja premaza: a) uzorci za ispitivanje na eroziju, b) uzorci za ispitivanje na abraziju.....	39
Slika 7.4. Odmašćivanje površine uzoraka acetonom .....	39
Slika 7.5. Odmašćivanje uzorka namijenjenog ispitivanju u vlažnoj komori (lijevo) i uzorci spremni za nanošenje premaza s tri različite pripreme površine (desno).....	39
Slika 7.6. Elcometer 224, uređaj za mjerenje površinskog profila [28] .....	40
Slika 7.7. Belzona 1321 (Ceramic S-Metal) epoxy premaz .....	42
Slika 7.8. Belzona 1212 epoxy kompozit .....	43
Slika 7.9. Belzona 1391T, keramički ojačan epoksidni premaz .....	44
Slika 7.10. Pribor za miješanje i nanošenje premaza: a) plastične špatule i nož, b) aplikator i kistovi .....	46
Slika 7.11. Odmašćivanje radne površine na kojoj se miješaju komponente .....	47
Slika 7.12. Priprema premaza Belzona 1321: a) volumno određivanje količine baze, b) volumno određivanje količine otvrđivača, c) miješanje komponenti .....	48
Slika 7.13. Nanošenje Belzona 1321 premaza na ispitni uzorak .....	48
Slika 7.14. Mjerač debljine mokrog filma (lijevo) i mjerač nakon ispitivanja (desno).....	49
Slika 7.15. Uzorci nakon nanošenja premaza Belzona 1321 .....	49
Slika 7.16. Određivanje potrebne količine komponenti Belzona 1212 .....	50
Slika 7.17. Uzorci nakon nanošenja premaza Belzona 1212 .....	50
Slika 7.18. Priprema premaza Belzona 1391T: a) određivanje količine baze i učvršćivača, b) miješanje komponenti.....	51
Slika 7.19. Nanošenje Belzona 1391T premaza na uzorak.....	52
Slika 7.20. Uzorci nakon otvrdnuća premaza: a) uzorci za erozijsko ispitivanje, b) uzorci za abrazijsko ispitivanje .....	52
Slika 7.21. Uzorci nakon otvrdnuća premaza prije ispitivanja u vlažnoj komori .....	53
Slika 7.22. Uzorci nakon otvrdnuća premaza prije ispitivanja prionjivosti, tvrdoće te otpornosti na udar .....	54
Slika 7.23. Mjerenje debljine filma premaza pomoću uređaja QuaNix 1500.....	55
Slika 7.24. Shematski prikaz ispitivanja abrazijske otpornosti metodom "suhi pijesak/gumeni kotač" prema ASTM G65-94 normi [30].....	57
Slika 7.25. Dijelovi uređaja za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje .....	58
Slika 7.26. Vaga METTLER B5C 1000.....	59

Slika 7.27. Ispitni uzorak u steznim čeljustima pri ispitivanju otpornosti na abrazivsko trošenje	60
Slika 7.28. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na abrazivsko trošenje premaza (gornji trag 30 s, srednji trag 20 s i donji trag 10 s).....	62
Slika 7.29. Shematski prikaz ispitivanja otpornosti premaza na erozijsko trošenje [30] .....	62
Slika 7.30. Dijelovi uređaja za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje .....	63
Slika 7.31. Ispitni uzorak u držaču prije početka ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje .....	65
Slika 7.32. Izgled uzoraka nakon: a) 7 minuta ispitivanja, b) 14 minuta ispitivanja .....	65
Slika 7.33. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje premaza .....	67
Slika 7.34. Elcometer 1615 .....	68
Slika 7.35. Površine uzoraka nakon ispitivanja udarne otpornosti premaza: a) B 1321, b) B 1212, c) B 1391T .....	69
Slika 7.36. Postupak pripreme za Pull – off ispitivanje: a) hrapavljenje površine brusnim papirom, b) korišteno ljepilo te njegovo nanošenje, c) prislanjanje valjčića na površinu premaza, d) stvrdnjavanje ljepila .....	70
Slika 7.37. Rezultati Pull – off ispitivanja .....	71
Slika 7.38. Ispitivanje tvrdoće prema Buchholzovom modelu 263 .....	72
Slika 7.39. Otisak ispitivanja na premazu Belzona 1321 .....	74
Slika 7.40. Otisak ispitivanja na premazu Belzona 1212 .....	74
Slika 7.41. Otisak ispitivanja na premazu Belzona 1391T .....	75
Slika 7.42. Vlažna komora C&W, Model AB6 .....	76
Slika 7.43. Izgled ispitivanih uzoraka tijekom kontrola: a) nakon 168 sati, b) nakon 336 sati, c) nakon 504 sata.....	77
Slika 7.44. Prikaz premaza Belzona 1321 nakon 504 sata ispitivanja u vlažnoj komori .....	78
Slika 7.45. Prikaz premaza Belzona 1212 nakon 504 sata ispitivanja u vlažnoj komori .....	78
Slika 7.46. Prikaz premaza Belzona 1391T nakon 504 sata ispitivanja u vlažnoj komori.....	78
Slika 7.47. Uzorci pripremljeni za Pull – off ispitivanje .....	79
Slika 7.48 Ispitivanje prionjivosti premaza Pull – off metodom .....	79
Slika 7.49. Rezultati Pull – off ispitivanja nakon vlažne komore .....	81
Slika 7.50. Kružno urezivanje (lijevo) i izgled uzoraka nakon urezivanja (desno) .....	81
Slika 7.51. Ponovljeno Pull – off testiranje s kružnim urezivanjem .....	82

**POPIS TABLICA**

Tablica 7.1. Hrapavost površine uzoraka namijenjenih za ispitivanje u vlažnoj komori.....	41
Tablica 7.2. Upute za miješanje komponenata te radni vijek .....	46
Tablica 7.3. Debljine filma premaza na pojedinim uzorcima .....	56
Tablica 7.4. Parametri ispitivanja otpornosti premaza na abrazijsko trošenje.....	59
Tablica 7.5. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje.....	61
Tablica 7.6. Parametri ispitivanja otpornosti premaza na erozijsko trošenje .....	64
Tablica 7.7. Rezultati ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje .....	66
Tablica 7.8. Rezultati ispitivanja udarne otpornosti premaza.....	68
Tablica 7.9. Rezultati ispitivanja tvrdoće po Buchholzu .....	73

**POPIS OZNAKA I KRATICA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$D$	mm	Promjer držača uzoraka
$F$	N	Sila
HRN		Hrvatska norma
ISO		International Organization for Standardization – Međunarodna organizacija za standardizaciju
$l$	mm	Duljina otiska
LCD		Liquid crystal display – zaslon s tekućim kristalima
$m$	g	Masa
$n_{okr}$	1/min	Broj okretaja kotača
PTFE		Politetrafluoretilen
TSP		Trinatrijev fosfat
UV		Ultraviolet – ultraljubičasto zračenje
$V$	cm <sup>3</sup>	Volumen
$v_{\check{c}}$	m/s	Brzina abraziva
$v_u$	m/s	Brzina uzoraka
VOC		Volatile organic compounds – hlapljivi organski spojevi
$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	Gustoća
$\Delta m$	g	Gubitak mase
$\Delta V$	mm <sup>3</sup>	Gubitak volumena

## **SAŽETAK**

Diplomski rad sastoji se od teorijskog i eksperimentalnog dijela.

U teorijskom dijelu rada obrađeni su mehanizmi mehaničkog oštećivanja, zaštita čeličnih konstrukcija premazima te najčešće korištena veziva za organske premaze, s naglaskom na epoksidne premaze. Navedena su njihova najvažnija svojstva te područja primjene.

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su laboratorijska ispitivanja na uzorcima od niskougličnog čelika. Ispitana su fizikalna svojstva i svojstva korozijske otpornosti tri vrste dvokomponentnih epoksidnih premaza nanijetih na ispitne uzorke. Ispitivanje fizikalnih svojstava temeljilo se na abrazijskoj i erozijskoj otpornosti na trošenje, otpornosti na udar, tvrdoću te prionjivost premaza, dok je ispitivanje svojstava korozijske otpornosti premaza provedeno u vlažnoj komori.

Ključne riječi: korozija, organski premazi, polimerna veziva, epoksidi, priprema površine, abrazija, erozija

**SUMMARY**

This thesis consists of a theoretical and an experimental part.

The theoretical part of the paper deals with the mechanisms of mechanical damage, protection of steel structures with coatings and the most commonly used binders for organic coatings, with emphasis on epoxy coatings. Their most important properties and areas of application are listed.

In the experimental part of the paper, laboratory tests were performed on low-carbon steel samples. The physical properties and corrosion resistance properties of three types of two - component epoxy coatings applied to the test specimens were investigated. Testing of physical properties was based on abrasion and erosion resistance to wear, impact resistance, hardness and adhesion of the coating, while testing of corrosion resistance of the coating was performed in a humidity chamber.

**Keywords:** corrosion, organic coatings, polymer binders, epoxies, surface preparation, abrasion, erosion

## 1. UVOD

Korozija čeličnih konstrukcija definira se kao propadanje materijala koje je rezultat reakcije s okolinom koja uzrokuje degradaciju. Glavni učinak korozije je gubitak materijala s površine čeličnog elementa što dovodi do tanjih strukturnih presjeka. Pogoršanje može dovesti do smanjenja konstrukcijskih svojstava do te mjere da konstrukcija možda neće biti u stanju ispuniti osnovne zahtjeve za ispravnost i sigurnost prije nego što je završio njezin vijek trajanja. Da bi se spriječio prerani kvar čelične konstrukcije, potrebno je uzeti u obzir konstrukcijsko ponašanje pod korozijom i poduzeti odgovarajuće mjere opreza prije propadanja [1].

Gubitak materijala i čvrstoće konstrukcijskih elemenata uslijed korozije može imati ozbiljne posljedice u pogledu troškova, sigurnosti i praktičnosti. Korozija metala smatra se jednom od najopasnijih vrsta uništavanja različitih konstrukcija. Stoga je zaštita konstrukcija od korozije vrlo aktualna tema istraživanja, gdje je izrazito važno odabrati pravilni materijal ili sustav zaštite [2]. Najčešći oblik zaštite čeličnih konstrukcija je zaštita premazima (slika 1.1.). S obzirom na razne uvjete koji se pojavljuju u pojedinim industrijskim postrojenjima, potrebno je, osim zaštite od korozije, osigurati neprodiranje agresivnih kemikalija kroz zaštitini sloj premaza, kako ne bi došlo do oštećivanja osnovnog materijala.



*Slika 1.1. Zaštita čeličnih konstrukcija organskim premazima [3]*



## 2. OBLICI KOROZIJSKOG OŠTEĆIVANJA

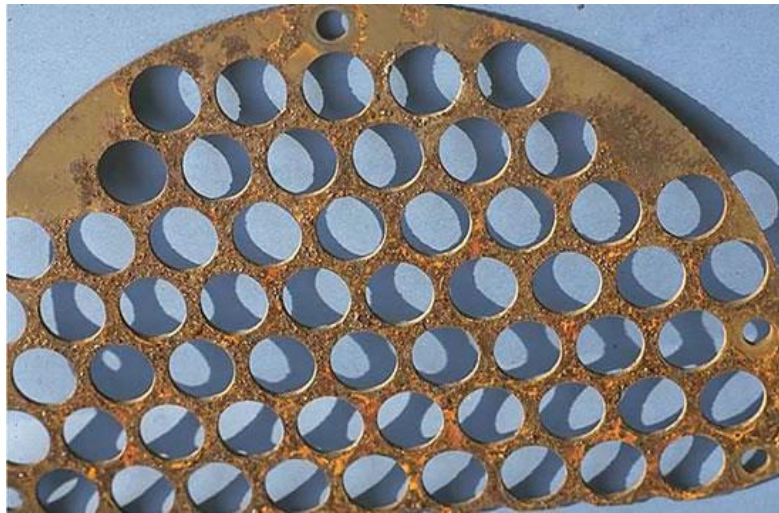
Prikladno je koroziju klasificirati prema oblicima u kojima se manifestira, a osnova za ovu klasifikaciju je izgled korodiranog metala. Svaki se oblik može prepoznati pukim vizualnim promatranjem. U većini slučajeva dovoljno je golim okom, ali ponekad je povećanje korisno ili potrebno. Vrijedne informacije za rješenje problema korozije često se mogu dobiti pažljivim promatranjem korodiranih ispitnih uzoraka ili otkazane opreme. Pregled prije čišćenja je posebno poželjan. Neki oblici korozije su jedinstveni, ali svi su više ili manje međusobno povezani. Oblici korozije su [4]:

- opća korozija
- galvanska korozija
- korozija u procijepu
- rupičasta korozija
- interkristalna korozija
- selektivna korozija
- erozijska korozija
- napetosna korozija.

### 2.1. Opća korozija

Opća korozija najčešći je oblik korozije. Obično je karakterizirana kemijskom ili elektrokemijskom reakcijom koja se jednoliko odvija na cijeloj izloženoj površini ili na velikom području (slika 2.1.). Metal postaje tanji i na kraju otkazuje. Na primjer, komad čelika ili cinka uronjen u razrijeđenu sumpornu kiselinu će se otopiti jednakom brzinom po cijeloj svojoj površini. Krov od željeznog lima pokazat će u osnovi jednak stupanj hrđanja na cijeloj svojoj vanjskoj površini.

Ravnomjerni napad ili opća jednolika korozija predstavlja najveće uništavanje metala na osnovi tonaže. Međutim, ovaj oblik korozije s tehničkog stajališta ne predstavlja preveliku zabrinutost jer se vijek opreme može precizno procijeniti na temelju usporedno jednostavnih ispitivanja. Dovoljno je samo potapanje uzoraka u tekućinu i određivanje gubitka mase. Ujednačeni napad može se spriječiti ili smanjiti odgovarajućim materijalima, uključujući premaze, inhibitorima ili katodnom zaštitom [4].



*Slika 2.1. Korozija čelične pregrade u izmjenjivaču topline [5]*

## **2.2. Galvanska korozija**

Razlika potencijala obično postoji između dva različita metala kada su uronjeni u korozivnu ili vodljivu otopinu. Ako ti metali dođu u kontakt (ili su na neki drugi način električno povezani), ta razlika potencijala stvara protok elektrona između njih (slika 2.2.). Korozija manje otpornog metala na koroziju obično je povećana, a napad otpornijih materijala smanjen u usporedbi s ponašanjem tih metala kada nisu u kontaktu. Manje otporan metal postaje anodni, a otporniji katodni. Obično katoda ili katodni metal, nagrizaju vrlo malo, ili uopće ne korodiraju u ovoj vrsti parova. Zbog uključenih električnih struja i različitih metala, ovaj oblik korozije naziva se galvanska korozija [4].



*Slika 2.2. Galvanska korozija [5]*

### 2.3. Korozijska u procijepu

Intenzivna lokalizirana korozijska često se javlja unutar pukotina i drugih zaštićenih područja na metalnim površinama izloženim korozijskoj (slika 2.3.). Ova vrsta napada obično je povezana s malim količinama stajaće otopine uzrokovane procijepima, površinama brtvila, zglobovima, površinskim naslagama i dosjedima ispod glava vijaka i zakovica [4].

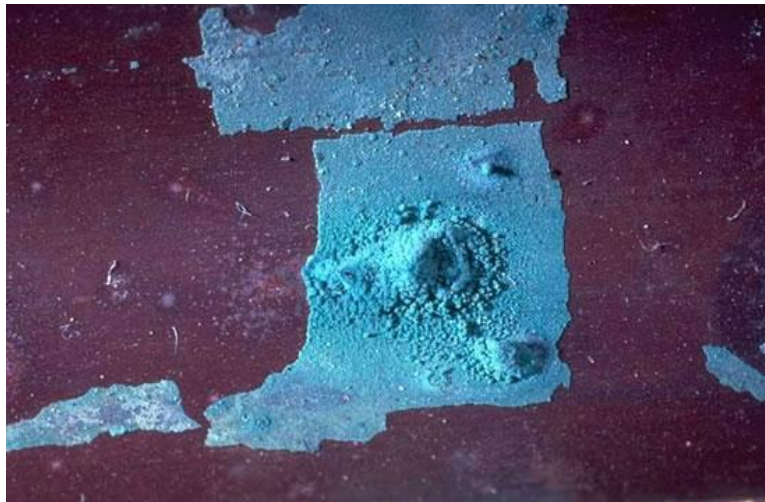


Slika 2.3. Korozijska u procijepu (ispod brtve) na prirubnici od nehrđajućeg čelika koja je izložena mediju bogatom kloridom [5]

### 2.4. Rupičasta korozijska (pitting)

Pitting (slika 2.4.) je oblik izuzetno lokaliziranog napada koji rezultira rupama u metalu. Te rupe mogu biti malog ili velikog promjera, ali u većini slučajeva su relativno male. Jamice su ponekad izolirane ili toliko blizu jedna drugoj da izgledaju poput grube površine. Općenito se jamica može opisati kao šupljina ili rupa s promjerom površine otprilike jednakim ili manjim od dubine.

Pitting je jedan od najrazornijih i najpodmuklijih oblika korozijske. Uzrokuje neuspjeh opreme zbog perforacije uz samo mali postotak gubitka težine cijele konstrukcije. Često je teško otkriti jamice zbog njihove male veličine i zato što su jamice često prekrivene produktima korozijske. Uz to, teško je kvantitativno izmjeriti i usporediti opseg jamica zbog različitih dubina i broja jamica koje se mogu pojaviti u identičnim uvjetima. Pitting je također teško predvidjeti i laboratorijskim ispitivanjima. Ponekad je potrebno dugo vremena, nekoliko mjeseci ili godina, da se pojave u stvarnom roku. Pitting je posebno štetan jer je to lokalizirani i intenzivni oblik korozijske, a oštećenja se često događaju naglo [4].



Slika 2.4. Rupičasta korozija bakrene cijevi s vidljivim korozivskim produktima [5]

## 2.5. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija ima malo ili nimalo posljedica u većini primjena ili korištenja metala. Ako metal korodira, dolazi do jednolikog napada jer su granice zrna obično samo malo reaktivnije od matrice. Međutim, pod određenim uvjetima, zrna su vrlo reaktivna i rezultat je interkristalna korozija (slika 2.5.). Lokalizirani napad na granicama zrna i uz njih, s relativno malom korozijom zrna, je interkristalna korozija. Legura se raspada i gubi na čvrstoći.

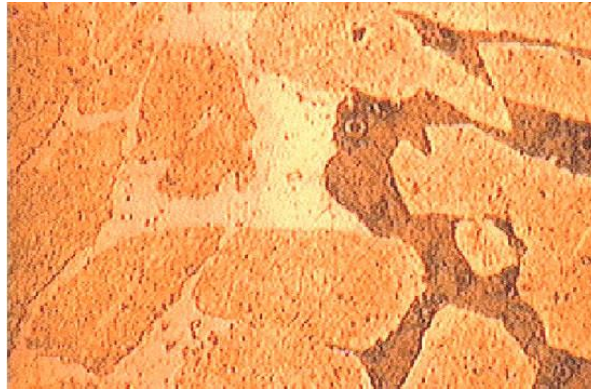
Interkristalnu koroziju mogu uzrokovati nečistoće na granicama zrna, obogaćivanje jednog od legirajućih elemenata ili iscrpljivanje jednog od tih elemenata u područjima granica zrna. Pokazalo se da male količine željeza u aluminiju, u kojima je topljivost željeza niska, odvajaju se u granicama zrna i uzrokuju interkristalnu koroziju. Pokazano je da je na temelju razmatranja površinske napetosti sadržaj cinka u mesingu veći na granicama zrna. Iscrpljivanje kroma u područjima granica zrna rezultira interkristalnom korozijom nehrđajućih čelika [4].



Slika 2.5. Morfologija interkristalne korozije unutar cjevovoda za vodu [5]

## 2.6. Selektivna korozija

Selektivno otapanje je uklanjanje jednog elementa iz čvrste legure porocesima korozije (slika 2.6.). Najčešći je primjer selektivno otapanje cinka u legurama mesinga (decinkacija). Slični se procesi događaju u drugim sustavima legura u kojima se otapaju aluminij, željezo, kobalt, krom i drugi elementi. Selektivno otapanje općeniti je pojam za opisivanje ovih procesa, a pojedinačni fenomeni su dealuminifikacija, dekobaltizacija, grafitizacija sivog lijeva [4].



Slika 2.6. Mikrografski izgled decinkacije mjedi [5]

## 2.7. Erozijska korozija

Erozijska korozija (slika 2.7.) je ubrzanje ili povećanje brzine propadanja ili napada na metal zbog relativnog kretanja korozivne tekućine i metalne površine. Općenito je ovo kretanje prilično brzo, a uključeni su mehanički efekti habanja ili abrazije. Metal se otapa s površine kao otopljeni ioni ili tvori korozijske produkte koji se mehanički uklanjaju s metalne površine. Ponekad kretanje okoline smanjuje koroziju, posebno kada se lokalizirani napad dogodi u stajaćim uvjetima, ali to nije erozijska korozija jer propadanje nije povećano.



Slika 2.7. Erozijsko-korozivna oštećenja tipa "potkovića" u bakrenom cjevovodu [5]

Erozijska korozija karakterizira izgled utora, žljebova, valova, zaobljenih rupa i dolina i obično pokazuje usmjereni uzorak. U mnogim se slučajevima oštećenja zbog erozijske korozije javljaju u relativno kratkom vremenu, a neočekivani su ponajviše zbog toga što su se ispitivanja korozije provodila u statičkim uvjetima ili zato što se nisu uzimali u obzir učinci erozije [4].

## 2.8. Napetosna korozija

Napetosna korozija (slika 2.8.) je selektivni oblik korozije koji nastaje u materijalima zbog istodobnog djelovanja okoline, eksploatacije, mehaničkih naprezanja te korozijskih reakcija. Napetosnu koroziju izazivaju vlačna naprezanja koja su češće unutarnja (zaostala) nego vanjska (nametnuta), a uglavnom su posljedica zaostalih naprezanja zbog hladne deformacije ili zavarivanja u okolini povišene temperature, tlaka i opasnih otopina koje sadrže halogenide, kloride alkalnih i zemnoalkalnih metala, sumporovodika i sl. Pukotine napreduju okomito na smjer vlačnog naprezanja, a šire se interkristalno i transkristalno. Iako se napetosna korozija najčešće veže uz nehrđajuće čelike, ovaj tip korozije javlja se i u drugim materijalima i njihovim legurama, ali i u tehničkim materijalima kao što su polimeri, staklo, keramika itd [4].



Slika 2.8. Napetosna korozija visokolegiranog čelika [5]

### 3. KOROZIJSKA ZAŠTITA ORGANSKIM PREMAZIMA

Organske prevlake predstavljaju prepreku koroziji između osnovnog metala i korozivnog okoliša. Održavaju trajnost konstrukcija i pružaju otpornost na vremenske uvjete, vlagu, abraziju, kemijsku otpornost i daju estetski izgled. Učinkovitost organskog premaza ovisi o mehaničkim svojstvima sustava premaza, vrsti i koncentraciji suspendiranih inhibitora, predobradi metalne površine, prijanjanju premaza na osnovnu metalnu podlogu i drugim aditivima koji inhibiraju koroziju podloge. Formulacije premaza obično sadrže otapalo, smolu (vezivo), pigment, punilo i aditive. Kada se nanose na osnovni metal, pružaju kontinuiranu, homogenu prevlaku koja sprječava pucanje i razgradnju strukture tijekom naprezanja, vodonepropusnost i starenje. Zaštitni premazi trebali bi imati nisku propusnost, dobru korozijsku stabilnost i izgled tijekom duljeg vremenskog razdoblja kako bi opravdali troškove [6].

Organski premazi nanose se na metalne površine obično u dva ili više slojeva koji čine sustav premaza. Postupci nanošenja organskih prevlaka su [7]:

- bojenje i lakiranje
- plastifikacija
- gumiranje
- bitumenizacija
- konzervacija.

Premazi se, osim u zaštitne svrhe, nanašaju i zbog poboljšanja estetskog izgleda metalne površine (dekorativni premazi) pa tako postoje bezbojni i različito obojeni premazi, zatim mutni, sjajni i mat premazi, a moguće je postići i dojam sjajnog ili kovanog metala. Postoje i razni specijalni premazi raznolike funkcije, kao na primjer: premazi za električnu izolaciju, kitovi, premazi za označavanje, antivegetativni premazi za zaštitu podvodnih konstrukcija, protupožarni premazi itd. Sustav zaštite premazima sastoji se obično od temeljnog sloja, jednog ili više međuslojnih slojeva te završnog sloja, od kojih svaki ima svoju ulogu. Općenito se može reći da je premaz materijal koji je nakon nanošenja na podlogu stvorio čvrsti film [8].

### 3.1. Sastavne komponente organskih premaza

Sastav premaza određuje stupanj zaštite od korozije koji će se koristiti. Osnovne komponente organskih premaza su [9, 10]:

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

Kombinacija ovih sastojaka daje zaštitna svojstva premazu.

#### 3.1.1. Veziva

Veziva su materijali koji tvore kontinuirani film koji prijanja na podlogu (površina koja se zaštićuje), koji međusobno povezuju ostale tvari u prevlaci da bi stvorili film i koji predstavljaju odgovarajuću tvrdu vanjsku površinu. Vezivni polimeri i njihovi prethodnici često se nazivaju smolama. Vezivo u velikoj mjeri upravlja svojstvima filma za oblaganje [11].

Vezivo je sastojak boje koji stvara film. Čini matricu premaza, kontinuiranu polimernu fazu u koju se mogu ugraditi sve ostale komponente. Njegova gustoća i sastav u velikoj mjeri određuju propusnost, otpornost na koroziju i UV otpornost premaza.

Najčešće korišten veziva su vinili, klorirana guma, akril, epoksidi, uretani, poliesteri, autooksidativne presvlake i u vodi topljive smole [10].

#### 3.1.2. Otapala

Organska otapala obično su potrebna samo za nanošenje premaza, a nakon nanošenja namijenjena su isparavanju iz vlažnog filma boje. Voda se smatra ili otapalom ili emulgatorom. Brzina isparavanja otapala utječe na karakteristike nanošenja premaza. Nužno je da otapalo potpuno ispari. Ako se otapala djelomično zadrže i ne isparavaju u potpunosti, vjerojatno će doći do prijevremenog pucanja stvaranjem mjehurića ili oštećenja [10].

Većina premaza formulirana je za nanošenje u uvjetima okoline od približno 248 °C i 50% relativne vlažnosti. Ako su uvjeti okoline znatno viši ili niži, moguće je da bi oslobađanje otapala moglo predstavljati problem. Ovaj potencijalni problem može se ublažiti promjenom "ravnoteže otapala". Općenito, brže isparavajuća otapala treba koristiti u hladnijem vremenu, a sporije isparavajuća otapala u toplijem vremenu.



Dvokomponentni epoksidi i praškasti premazi primjeri su sustava boja bez otapala. Epoksidne prevlake mogu se miješati i nanositi bez upotrebe otapala, jer dvije komponente obično imaju malu viskoznost. Praškasti premazi se stvrđavaju sinteriranjem. Prije nanošenja, termoplastični premazi u prahu sastoje se od velikog broja malih čestica veziva. Te se čestice talože na metalnoj površini pomoću posebnih tehnika nanošenja. Nakon toga se boja peče u pećnici da sinterovanjem stvara kontinuirani film [10].

Danas većina premaza, uključujući premaze koji se prenose vodom, sadrže barem neka hlapljiva organska otapala. Iznimke su praškasti premazi, određeni tekući premazi bez otapala, premazi otvrdnuti zračenjem [11].

### 3.1.3. Pigmenti

Primarna svrha pigmenata je osigurati boju i neprozirnost premaznom filmu. Međutim, oni također imaju značajne učinke na karakteristike primjene i na svojstva filma. Iako većina prevlaka sadrži pigmente, postoje važne vrste prevlaka koje sadrže malo ili nimalo pigmenta, obično se nazivaju prozirni slojevi. Primjeri su prozirni premazi za automobile i prozirni lakovi [11].

Pigmenti imaju nekoliko funkcija kao dio obloge [10]:

- strukturno ojačavaju film
- pružaju boju i neprozirnost
- služe u posebne svrhe za zaštitu metala.

Tipični materijali koji se koriste kao boja ili neprozirni pigmenti i koji pružaju estetsku vrijednost, zadržavanje sjaja i boje, kao i pomoć u strukturi filma i nepropusnosti su željezni oksidi, titan-dioksid, ugljen i drugi.

Pigmenti moraju biti donekle otporni na okoliš i moraju biti kompatibilni sa smolom. Na primjer, kalcijev karbonat, kojeg napada kiselina, ne smije se koristiti u kiselom okruženju. Soli topive u vodi potiču koroziju, pa se u temeljnim premazima za čelik koriste posebni pigmenti s malo soli.

Temeljni premaz, tj. baza, sadrži jednu od tri vrste pigmenata za posebna zaštitna svojstva, kako slijedi [10]:

1. Inertni ili kemijski otporan. Koriste se za stvaranje zaštitnih prevlaka u zahtjevnim okruženjima kao što je pH manji od 5 ili veći od 10. Također se koriste kao nereaktivna punila, neprozirni ili pigmenti u boji u neutralnom okruženju.
2. Aktivan. Kromati ili drugi inhibicijski pigmenti koriste se u lanenim uljima / alkidnim temeljnim premazima.
3. Galvanski žrtveni. Cink se koristi u visokim koncentracijama kako bi se dobio električni kontakt za galvansku zaštitu u okruženjima između pH 5 i 10.

#### 3.1.4. Punila

Punila su zapravo jeftini bijeli ili svjetlosivi pigmenti sa slabom moći pokrivanja, te daju neprozirnost premazu samo ukoliko se dodaju u velikoj količini.

Osim smanjenja troškova, punila također omogućavaju bolje zaštićivanje rubova. Kad se boja osuši, smanjuju propusnost za vodu i kisik i pružaju ojačavajuću strukturu u filmu. Talk i tinjac se široko koriste kao punila. Tinjac je ograničen na približno 10% ukupnog pigmenta. I talk, i tinjac, ali posebno tinjac, smanjuju propusnost kroz film jer pločaste čestice blokiraju prožimanje, prisiljavajući vodu i kisik da traže duži put kroz vezivo oko čestice [8, 10].

#### 3.1.5. Aditivi

Aditivi su materijali koji se uključuju u malim količinama radi modificiranja nekih svojstava premaza. Primjeri su katalizatori oksidativne polimerizacije, tj. umrežavanja, omekšivači (plastifikatori) veziva i organski inhibitori korozije.

Katalizatori oksidativne polimerizacije zovu se sikativima, a najčešće se radi o organskim peroksidima. Dodavanjem omekšivača povećava se žilavost premaza na osnovi celuloznih derivata, vinilnih i akrilnih smola te gume. U temeljne premaze se katkad dodaju inhibitori korozije, tj. soli organskih baza ili kiselina. Ostali aditivi koji se dodaju premaznom sredstvu su organska bojila topljiva u vezivu, fungicidi, površinski aktivne tvari, stabilizatori, antioksidansi itd [8, 11].

## 4. VRSTE POLIMERNIH VEZIVA ZA ORGANSKE PREMAZE

Mnoge nehlapljive organske tvari u obliku viskoznih kapljevina ili smola koriste se kao veziva za boje i lakove. S ciljem postizanja željenih svojstava premaza, vrlo često se u premaznom sredstvu kombiniraju različita veziva. Također, vezivo premaznog sredstva bitno se razlikuje od tvari koja čini opnu prevlake ako ona nastaje kemijskim otvrdnjavanjem. Podjela premaza moguća je na više načina, no u praksi je ipak najčešća podjela prevlaka na osnovi vrste vezivnog sredstva. Prema toj podjeli, najvažnije skupine prevlaka su na osnovi: sušivih ulja, poliplastičnih veziva (alkidne smole), epoksidnih smola, poliuretanskih smola, vinilnih smola, akrilata, politetrafluoretilena (PTFE), nezasićenih poliestera, fenoplasta, silikona, prirodnih smola i gumenih veziva na osnovi vulkaniziranog kaučuka [8, 12].

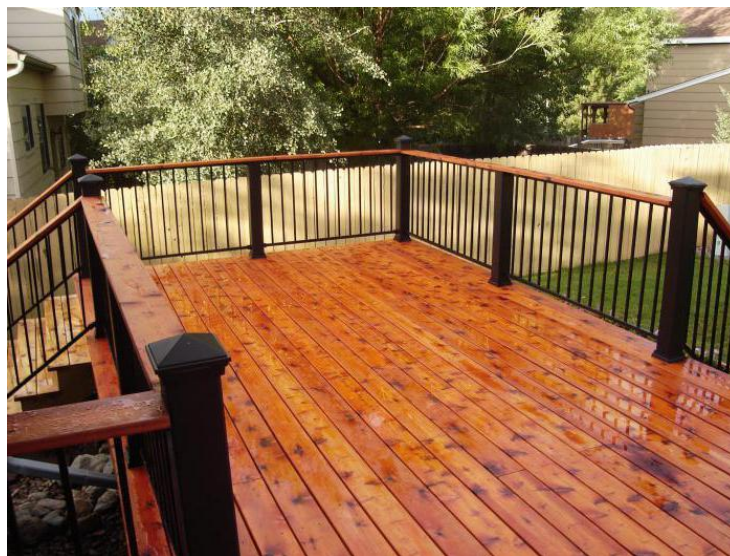
Zaštitni premazi kategorizirani su prema generičkom tipu veziva ili smole i grupirani su prema mehanizmu očvršćivanja ili stvrdnjavanja svojstvenog tom generičkom tipu. Iako smola ili organsko vezivo najviše utječu na određivanje otpornosti i svojstava boje, istina je također da vrsta i količina pigmenata, otapala i aditiva dramatično utječu na svojstva primjene i zaštitne sposobnosti primijenjenog filma. Nadalje, mogu se formulirati hibridizirani sustavi koji se križaju između kategorija. Na primjer, akrilni monomer ili prepolimer mogu se uklopiti u gotovo bilo koju drugu generičku vrstu smole kako bi se dobio proizvod svojstava koja predstavljaju kompromis između akrila i izvornog polimera. U mnogim je slučajevima to povoljno, kao kod miješanja poliuretana i akrila ili toplinski očvrsljivih alkida i akrila. U drugim slučajevima, poput epoksida, modifikacija akrila može štetiti [12].

### 4.1. Sušiva ulja

Polimerizacijom koja se pobuđuje oksidacijom na zraku, otvrdnjuju biljna sušiva ulja koja služe kao vezivo u firnisu, uljenim bojama i uljenim lakovima. Također, polimerizacijom se umrežavaju i alkidne smole sušive na zraku ili modificirane monomerima (stiren, akrilati, viniltoluen i drugi), epoksidni esteri i epoksidne smole modificirane sušivim uljima, epoksidne smole uz dodatak kiselina i drugi. To su esteri više masnih kiselina s glicerolom. S obzirom na vrstu i količinu masnih kiselina s većim ili manjim brojem dvostrukih veza, ulja pokazuju veću ili manju sušivost, pa se razlikuju sušiva, polusušiva i nesušiva ulja [13].

Sušiva ulja su ulja građena od glicerola i linolne ili linolenske kiseline. Njihovo je svojstvo da nanosena u tankom sloju na podlogu i izložena zraku i svjetlu ubrzo očvrstnu i tvore elastičnu, otpornu prevlaku. Kisik iz zraka veže se na nezasićene veze stvarajući perokside i hidroperokside koji se raspadaju, a nastala radikalska mjesta pobuđuju zatim polimerizaciju, kojoj pogoduju

metalne soli masnih kiselina kao katalizatori (takozvani sikativi ili sušila). Najvažnija sušiva ulja jesu laneno, orahovo, konopljino, drveno ili tungovo ulje (slika 4.1.) i druga. Sušiva ulja upotrebljavaju se kao veziva za pripremu firnisa, uljenih boja i uljenih lakova, te za modificiranje alkidnih smola sušivih na zraku. Prekrivna sredstva ili naliči na osnovi sušivih ulja neotrovna su i nemaju štetnih posljedica s obzirom na zagađivanje okoliša. Usprkos sporom sušenju, sušiva su ulja i danas važna kao veziva za temeljne boje zbog izvanrednih svojstava prodiranja (penetriranja) [13].



Slika 4.1. Primjena drvnog ili tungovog sušivog ulja [13]

#### 4.2. Samooksidirajuće umrežene smole

Kod ove vrste premaza, prevlake se suše i na kraju se umrežavaju reakcijom s kisikom iz atmosfere. Sve takve prevlake u ovoj klasi sadrže ulja za sušenje koja se uglavnom sastoje od polinezasićenih masnih kiselina i podvrgavaju se stvaranju filmova oksidativnim sušenjem. Reakciju sušenja ubrzava prisutnost metalnih soli poput kobalta, mangana i naftenata ili olovnog oktoata. Reakcija sušenja rezultira smanjenjem nezasićenih skupina, obično dvostrukih veza etilenskog ugljika. Reakcija autooksidacije javlja se relativno velikom brzinom ubrzo nakon nanošenja mokre boje i nastavlja se tijekom cijelog vijeka trajanja premaza, iako s vremenom znatno sporijom brzinom [12].

Samooksidirajuća reakcija je reakcija razgradnje koja rezultira stvaranjem hidroperoksida. Iako je samooksidirajuće umrežavanje neophodno za postizanje krajnjih otpornih svojstava filma (takva svojstva obično se postižu u roku od nekoliko tjedana nakon primjene), s vremenom se hidroperoksidi nastali kao rezultat autooksidativnog umrežavanja raspadaju u sastojke organske kiseline, što dovodi do kemijskih pogoršanje filma. Slično tome, samooksidirajuća reakcija

rezultira stvrdnjavanjem i konačnom krhkošću filma, uzrokujući s vremenom smanjenu rastezljivost i fleksibilnost. Ova lomljivost i prateće razlaganje hidroperoksida rezultiraju propadanjem filma i konačnim gubitkom zaštitne sposobnosti. Brzina kojom premaz gubi zaštitnu sposobnost određuje se temperaturom, debljinom, izloženošću suncu i vrstama pigmentacije (na primjer, cinkov oksid i pigmenti koji sadrže olovo posebno su korisni u apsorpciji hidroperoksida i usporavanju brzine propadanja filma) [12].

Samooksidirajuće prevlake u svakom slučaju sadrže sušiva ulja. Sušiva ulja mogu se izravno pomiješati s pigmentom kako bi se dobio cjeloviti premaz. Međutim, češće se ulje za sušenje kombinira sa smolom, poput alkida, epoksidnog estera ili poliuretana, zagrijavanjem. Smola poboljšava žilavost i kemijsku otpornost na ulje, povećavajući njegovu otpornost na kemikalije i vlagu. Količina ulja u kombinaciji sa smolom utječe na zaštitnu sposobnost nanesenog filma. Duge preinake ulja rezultiraju manjom kemijskom otpornošću i duljim vremenom sušenja, ali povećanom probojnošću i većom sposobnošću zaštite na loše očišćenoj površini. Manja modifikacija ulja rezultira kratkim uljem koje se mora nanijeti na relativno čistu podlogu i brzo se suši. Neka kratka ulja obično se koriste u brzосуšećim premazima koji se potpuno stvrdnu nakon nekoliko minuta pečenja na približno 95 °C. Kratke uljne prevlake imaju dobru otpornost na vlagu i kemikalije, ali su relativno tvrde i lomljive. Srednja ulja predstavljaju kompromis između dugih i kratkih modifikacija ulja. Najčešće se alkidi, epoksidni esteri i uretanske smole koriste u kombinaciji sa sušivim uljima za stvaranje samooksidirajućih umreženih prevlaka [12].

### 4.3. Termoplastične smole

Termoplastične smole karakterizira omekšavanje na povišenim temperaturama. Iako su smole u sustavima termoplastičnih boja obično ko-polimeri ili ter-polimeri, molekularna struktura nije umrežena u krutu molekulu, kao što su to kemijski umreženi ili samooksidirajući sustavi premaza. Nakon nanošenja, otapalo hlapi, a smolasto vezivo, zajedno s pigmentom, taloži se na površinu koja je presvučena kao čvrsti film. Molekularno preplitanje relativno linearnih segmenata molekule pruža učinak slojevitosti koji pigmentacijom i dovoljnom debljinom osigurava karakterističnu otpornost vlage i kemikalija na sustav smole koji se koristi [12].

Postoje dvije vrste premaza na bazi termoplastičnih smola [12]:

- nanešen isparavanjem otapala – lakovi,
- nanešen isparavanjem vode - vodeni premazi.

#### 4.4. Umrežene duromerne prevlake

Kemijski umrežene prevlake očvršćuju i postižu svoja krajnja svojstva kemijskom reakcijom s kopolimerom ili s vlagom. Primjeri premaza koji se kemijski umrežavaju kopolimerizacijom uključuju epokside, nezasićene poliestere, uretane u kojima izocijanat reagira s poliolum, silikone za očvršćivanje na visokoj temperaturi i fenolne obloge. Prevlake koje kemijski očvršćuju reagiraju s vodom uključuju vlagom otvrdnute poliuretane i većinu anorganskih prevlaka bogatih cinkom. Iako su prevlake na bazi sušivih ulja također kemijski umreženi reakcijom s kisikom iz zraka, oni su izuzeti iz ove kategorije jer mehanizam samooksidirajućeg umrežavanja svrstavamo u posebnu kategoriju kemijskog umrežavanja [12].

Temeljni princip kemijskog umrežavanja je formuliranje premaza pomoću smole ili veziva male molekularne težine. Kada se pomiješaju i primijene, dolazi do reakcije s vlagom iz atmosfere ili s koreaktantom, što rezultira umrežavanjem i puno većom trodimenzionalnom molekularnom strukturom. Zapravo je moguće započeti s primjenom umreženog sustava premaza na unutrašnjost velikog spremnika ili posude, a nakon završetka nanošenja mnogo sati kasnije, film se može stvrdnuti u jednu veliku makromolekulu koja može pokriti tisuće četvornih metara površine. Takav premaz ili obloga, ako je prikladno formuliran, pruža čvrstu, fleksibilnu i visoko kemijski otpornu zaštitnu barijeru preko podloge. Tako veliku makromolekulu sa popratnim svojstvima otpornosti na koroziju bilo bi nemoguće dobiti u prethodno reagiranom sustavu veziva [12].

Premazi i obloge na bazi kemijski konvertibilnih veziva mogu se formulirati tako da imaju izvrsnu otpornost na kiseline, lužine i vlagu, a mogu se pripremiti i za otpornost na abraziju, ultraljubičastu i toplinsku razgradnju. Općenito, žilavost i fleksibilnost premaza povećavaju se povećanjem molekularne duljine. Slično tome, kemijska otpornost i otpornost na vlagu povećavaju se kako se gustoća umrežavanja povećava unutar makromolekule. Međutim, kao i kod bilo kojeg premaza, sastavne kemijske skupine unutar bilo koje molekularne strukture mogu rezultirati karakterističnim snagama ili slabostima unutar molekularnog lanca. Nadalje, raspored i sastav privjesnih bočnih skupina mogu dodatno promijeniti svojstva bilo koje molekularne strukture. Također, nereagirani dijelovi (reaktivna mjesta) u molekuli mogu dovesti do smanjenja otpornosti na vlagu i kemikalije te na temperaturnu postojanost [12].

Stupanj umrežavanja molekula ovisi ne samo o reakcijskim dijelovima već i o mehanizmu umrežavanja (na primjer dodavanje, kondenzacija ili umrežavanje inicirano slobodnim radikalima). Što je najvažnije, vanjski čimbenici poput temperature (kod reakcija s vlagom) i

atmosferske vlažnosti zraka utječu na brzinu i opseg umrežavanja. Prema tome, kemijski pretvoreni premazi moraju se stvrdnuti nakon nanošenja isparavanjem otapala ili vode, a zatim stvrdnuti i postići svoja konačna očvršnuta svojstva reakcijom umrežavanja koja ovisi o temperaturi i / ili vlazi. Prespora brzina reakcije može dovesti do nedovoljno umrežene prevlake koja, iako je tvrda i ima odgovarajući izgled, ima lošu otpornost na kemikalije i vlagu. Prebrza reakcija može dovesti do prekomjernog stvrdnjavanja, tvrdog, nepropusnog premaza koji se ne može premazati odgovarajućim slijedećim slojem [12].

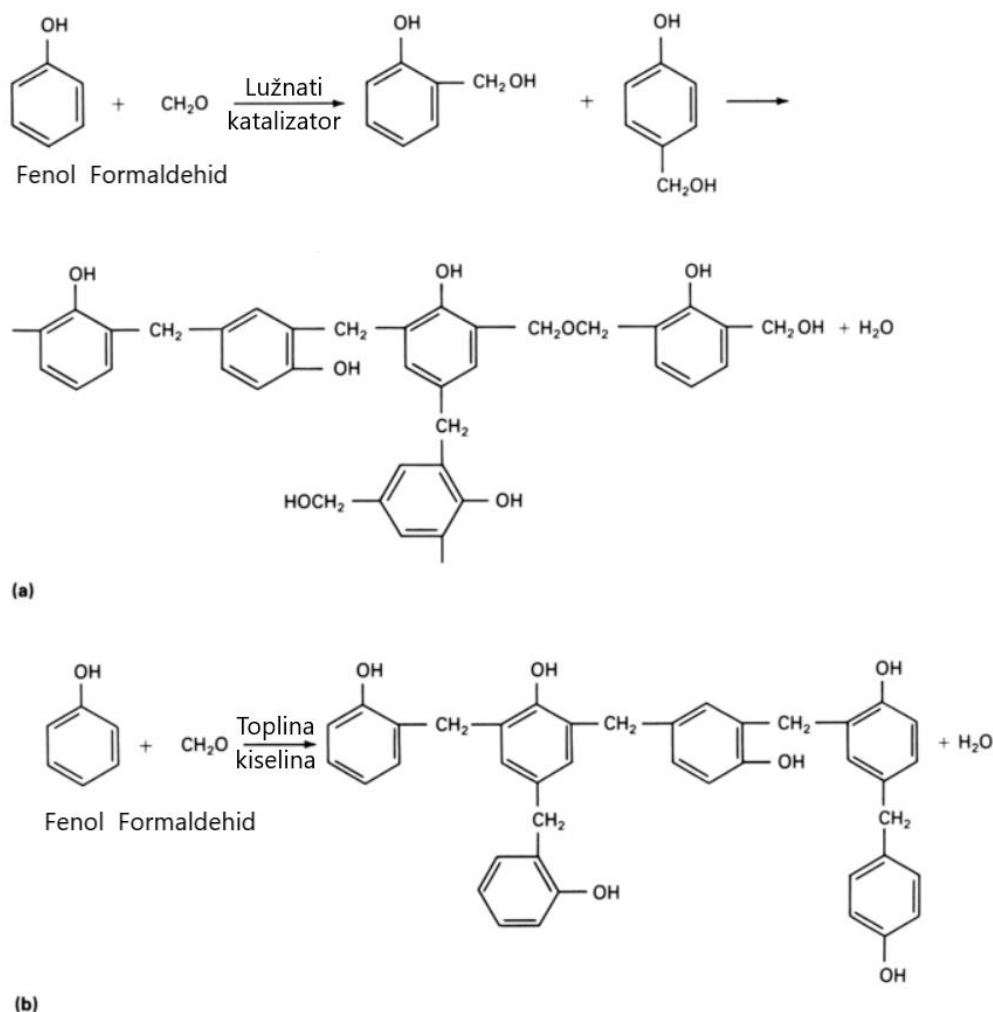
Prekomjerno očvršćivanje često predstavlja problem kod održavanja, kada se obnovljivi sloj nanosi na originalni umreženi sistem premaza nakon duljeg vremenskog razdoblja. Međutim, u ekstremnim slučajevima interval nanošenja, u kojem se ne mogu očekivati problemi s ponovnim nanošenjem sloja, može biti kratak od nekoliko sati za određene premaze ili pod određenim uvjetima okoline. Aminom otvrdnute katranske epoksidne prevlake dobar su primjer kod kojih vremenski period za nanošenje sloja može biti kraći od 16 sati, nakon čega adhezija među premazom može postati problem [12].

Otvrdnjavanje i očvršćivanje nekih kemijski umreženih sustava, kao što je većina poliestera i vinil estera, tako je brzo da je potrebno nanošenje mlazicom za više komponenata. Takvi sustavi miješaju koreaktante u vrijeme nanošenja spreja unutar pištolja za prskanje ili izvan mlaznice pištolja za prskanje. Do kemijske reakcije umrežavanja dolazi odmah pri dodiru prevlake s površinom. Iako su takvi premazi čvrsti u roku od nekoliko minuta, isparavanje otapala i dodatno umrežavanje trebaju se nastaviti danima prije izlaganja u ozbiljno kemijsko okruženje. Općenito, stvrdnjavanje većine kemijski umreženih sustava trebalo bi trajati otprilike 7 dana na 25 °C prije nego što je sustav premaza izložen jako korozivnim uvjetima, potapanju ili prskanju ili prosipanju kiseline ili lužine [12].

#### 4.4.1. Fenolni premazi

Fenolne smole nastaju reakcijom fenola s formaldehidom da bi se dobio fenolformaldehid. Metilolna skupina može reagirati na dva orto položaja i para-poziciji na benzenskom prstenu stvarajući fenolformaldehyde s do tri mjesta koja mogu ostvariti reakciju. Pri zagrijavanju dolazi do reakcije kondenzacije između metilolnih skupina na susjednim molekulama koje križno povezuju film i oslobađaju vodu [12].

Reakcija fenola i formaldehida u nastajanju umreženog filma prikazana je na slici 4.2.



Slika 4.2. Jednadžba reakcije fenola i formaldehida pri čemu nastaje fenolna smola: a) reakcija pomoću lužnatog katalizatora, b) reakcija uporabom kiselog katalizatora [12]

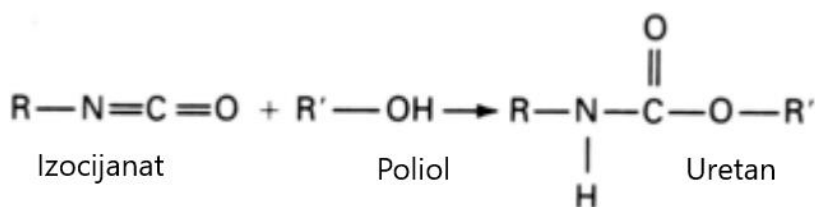
Fenolformaldehidne smole obično se otope u alkoholu i nanose mlaznicom, valjkom ili uranjanjem. Važna je činjenica da se voda oslobađa tijekom reakcije umrežavanja. Premazi se moraju nanositi u više slojeva, svaki sloj je debljine približno 0,025 mm i mora se peći nekoliko minuta na 120 do 205 °C prije nanošenja novog sloja. To djelomično umrežava premaz, ali što je još važnije, isparava vodu koja nastaje tijekom reakcije umrežavanja. Sljedeći se slojevi nanose i peku sve dok se, nakon konačnog nanošenja, ne izvrši naknadno pečenje na višim temperaturama i duljem trajanju [10]. Lako je utvrditi kada je premaz dovoljno pečen da se osigura pravilno stvrdnjavanje i umrežavanje. Fenolna smola potamni pri izlaganju toplini, a temeljito stvrdnuti premaz relativno je jednolike, svijetlo čokoladno-smeđe boje. Budući da su nakon potpunog stvrdnjavanja bez mirisa, okusa i netoksični, fenoli se često primjenjuju kao obloge za posude i spremnike koji se koriste za preradu i skladištenje takvih prehrambenih proizvoda kao što su pivo, vino i šećerni sirupi [12].



Također imaju izvrsnu otpornost na kipuću vodu i vruće vodene otopine blagih kiselina. Stoga često pronalaze primjenu kao obloge za čelik izložen slatkovodnoj i slanoj vodi visoke temperature, kao i blagim kiselinama [12].

#### 4.4.2. Uretanski premazi

Uretanski premazi imaju svojstva otporna na kemikalije i vlagu slična svojstvima epoksida, ali također se mogu formulirati u raznim svjetlosno postojanim bojama koje zadržavaju sjaj pri duljoj izloženosti. Kemijska reakcija koja je uključena u očvršćavanje uretanskim premazom nije pretjerano složena i tipično se sastoji uglavnom od reakcije materijala koji sadrži izocijanat ( $-N=C=O$ ) s polihidroksiliranim ( $-OH$ -sadržavajućim) koreatantom (slika 4.3.).



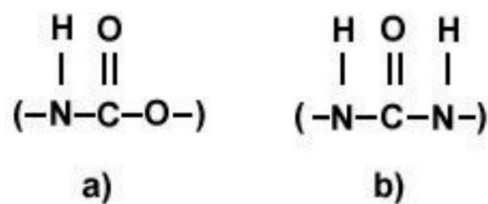
Slika 4.3. Reakcija izocijanata i poliola kako bi se dobio uretan [12]

Do umrežavanja dolazi zbog velike reaktivnosti i afiniteta grupe izocijanata za aktivni vodik poliola hidroksila ili bilo koji aktivni atom vodika vezan za atom dušika ili kisika. Brzina ove reakcije umrežavanja ovisi o brojnim čimbenicima, kao što su vrsta i konfiguracija izocijanatnih i poliolnih materijala te temperatura. Međutim, reakcija je takva da se kod većine formulacija umrežavanje može dogoditi na temperaturama od  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ili nižim [12].

U uretanskim oblogama koristi se niz različitih vrsta izocijanatnih materijala. Molekularna masa i struktura kao i funkcionalnost izocijanata (broj grupa izocijanata dostupnih za reakciju) mogu utjecati na konačna svojstva obloge. Slično tome, različite poliolne strukture, poput akrila, epoksida, poliestera, polietera i vinila, kada reagiraju s danim izocijanatom da bi tvorili umreženi omotač, rezultiraju varijacijama fizikalnih i kemijskih svojstava. Potom su opisana neka opća svojstva sastojaka izocijanata i poliola koji zajedno reagiraju da bi stvorili uretanske prevlake [12].

## 4.4.3. Poliuretanski premazi

Donedavno, mnogi proizvođači premaza nisu razlikovali reakcije izocijanata sa smolama poliester / polieter-hidroksilne funkcionalne skupine i smole na temelju reakcije izocijanata s polieter-aminom. U oba slučaja rezultirajuća smola generički se nazivala poliuretlan. Međutim, samo smola koja nastaje reakcijom izocijanata s hidroksiliranim poliesterom ili polieterom (ili, u tom smislu, hidroksiliranim akrilom ili epoksidom) zapravo sadrži uretansku vezu kao sastavni dio smole. U uretanskoj reakciji dolazi do umrežavanja dok izocijanatna skupina reagira s hidroksilom stvarajući uretansku vezu (slika 4.4.) [12].



Slika 4.4. Razlika između poliuretanskih i poliurea smola: a) uretanska karika u poliuretlanu, b) supstituirana veza uree u poliurei [12]

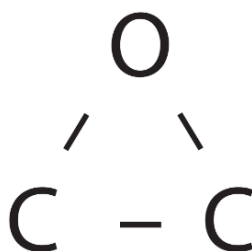
## 5. EPOKSIDNI PREMAZI

Epoksidni premazi su vrsta epoksidne smole dizajnirani da pruže najvišu razinu izvedbe boje. Epoksidna smola nastaje kombiniranjem epoksida (posebne vrste molekule koja se sastoji od kisika i ugljika) s raznim sredstvima za stvrdnjavanje. Rezultat ove smjese je čvrst film nalik plastici koji je otporan na vodu i mnoge kemikalije. Mnogi epoksidni premazi su dvokomponentni. Komponente se pohranjuju odvojeno i miješaju se na mjestu rada. Jednom pomiješan u odgovarajućim omjerima, epoksidni premaz je spreman za nanošenje. Prednosti epoksidnih premaza uključuju brzo vrijeme sušenja, dobru zaštitu od abrazije i nisku hlapljivost [14].

Epoksidni premazi poznati su po svojim izvanrednim mehaničkim svojstvima, kao što su tvrdoća i trajnost, te otpornost na habanje, udarce i kemikalije. Ovi atributi čine epoksidne premaze idealnim zaštitnim materijalom za premaze za komponente u zahtjevnim industrijskim uvjetima. Na primjer, epoksidne podne obloge obično se koriste za produljenje vijeka trajanja betonskih podova u industrijskim objektima, skladištima, logističkim centrima i drugim mjestima koja su izložena laganom prometu automobila i srednjem do jakom pješačkom prometu. Njegova otpornost na napade kemikalija, poput onih koje se nalaze u uljima, sredstvima za čišćenje i izbjeljivanju, čine epoksidne premaze popularnim zaštitnim medijem u automobilskoj industriji. Tehnologija epoksidne prevlake široko se koristi u industriji nafte i plina te vode i otpadnih voda kako bi se zaštitila imovina cjevovoda od korozije [15].

### 5.1. Epoksidi

Epoksid je sintetički polimer koji je ljepilo, boja ili drugi materijal koji sadrži ciklički troatomski prsten (slika 5.1.). Epoksidi se mogu naći u premazima, smolama i širokom spektru drugih tvari koje se koriste za sprečavanje korozije [15].



Slika 5.1. Epoksidna skupina [12]

Zbog svoje superiorne čvrstoće, kemijske otpornosti i prijanjanja na podloge, epoksidi su najvažnija klasa antikorozivnih boja. Općenito, epoksidi imaju sljedeće značajke [16]:

- vrlo dobra mehanička svojstva
- vrlo dobro prijanjanje na metalne podloge
- izvrsna otpornost na kemikalije i vodu
- bolja alkalna otpornost od većine ostalih vrsta polimera
- podložnost UV razgradnji
- može biti osjetljiv na kiseline.

Kemijski umreženi epoksidi obično dolaze kao dvokomponentni sustavi. Prva se obično sastoji od epoksidne smole, pigmentata i nekog otapala, a druga sadrži kopolimerni aditiv za stvrdnjavanje. Dvije komponente se pomiješaju neposredno prije nanošenja i nakon stvrdnjavanja razvijaju veliku strukturu makromolekule. Svojstva epoksidne prevlake proizlaze i iz vrste i molekularne težine epoksidne smole i kopolimernog aditiva koji se koristi za stvrdnjavanje [12].

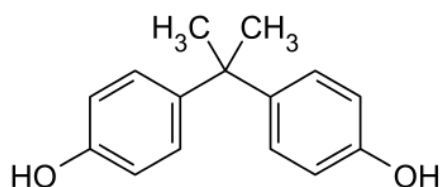
Najčešće korištene epoksidne smole su [12]:

- bisfenol-A, izveden iz bisfenola acetona i epiklorohidrina,
- bisfenol-F, izveden iz bisfenola formaldehida i epiklorohidrina i
- novolac, modifikacija bisfenol-F smole upotrebom suviška fenola.

Epoksidne smole bisfenol-A i dalje su industrijska snaga, ali upotreba smola bisfenola-F i novolaka znatno se povećala u posljednjih nekoliko godina zbog njihove niže molekulske mase u usporedbi s smolom bisfenol-A. To omogućava formulatorima veću fleksibilnost pri razvijanju premaza koji odgovaraju VOC. Bisfenol-F i novolac epoksidne smole također imaju veću funkcionalnost, što kada se pravilno umreži rezultira prevlakom s većom kemijskom i toplinskom otpornošću te otpornošću na vlagu od epoksidnih premaza tipa bisfenol-A [12].

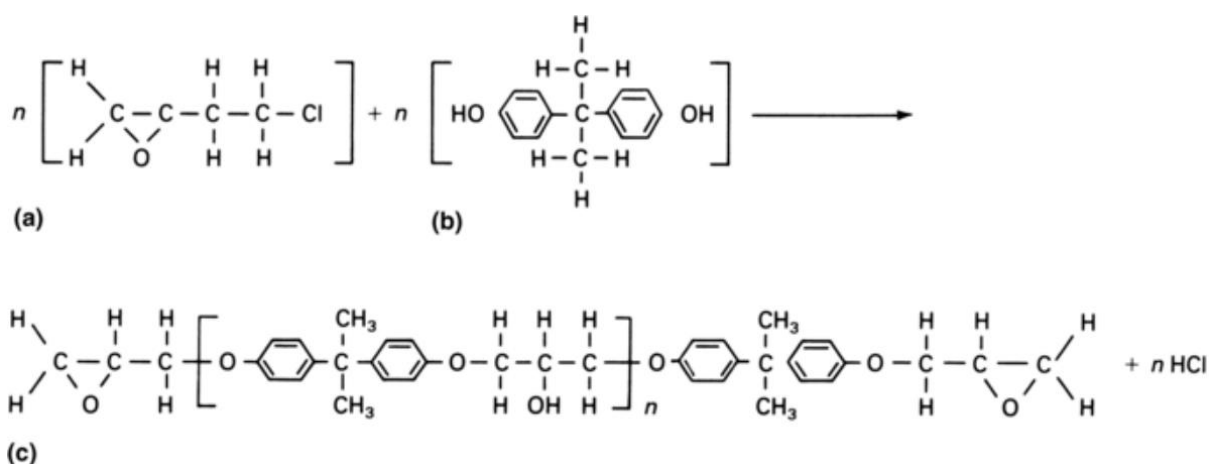
#### 5.1.1. Bisfenol-A smole

Bisfenol aceton (bisfenol-A) proizvod je reakcije fenola i acetona. Rezultirajuća smola dalje reagira s epiklorohidrinom dajući diglicidil-eter smole bisfenol-A. Molekularna struktura epoksidne smole bisfenol-A prikazana je na slici 5.2.



Slika 5.2. Molekularna struktura bisfenol-A smole [17]

Slika 5.3. prikazuje jednadžbu reakcije epiklorohidrina(a) i bisfenol-A smole(b) prilikom koje nastaje diglicidil-eter, vrsta epoksidne smole.



Slika 5.3. Jednadžba nastajanja diglicidil-eter epoksidne smole [12]

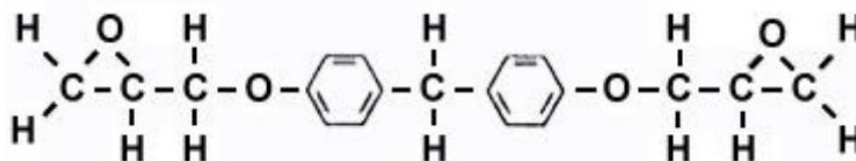
Kad je ponavljajuća jedinica  $n$  jedan ili manja od jedan, smola je tekuća s konzistencijom poput meda. Ovi tekući epoksidi koriste se za epokside s visokim udjelom krutih tvari, koji se stvrdnjavaju na temperaturi okoline. Kada se prosječna molekularna težina smole poveća povećanjem  $n$  na približno  $n=2$ , smola postaje krutina i mora se otopiti prikladnim razrjeđivačima da bi se mogla koristiti kao materijal za prevlačenje površine [12].

Tradicionalno, epoksidi tipa 2 bisfenol-A već se dugo koriste za proizvodnju aminastih i poliamidno suhih prevlaka od 45 do 65% udjela, koje godinama osiguravaju zaštitu čelika i betona na industrijskim i morskim tržištima. Rezultirajući epoksidni sustavi (kada su umreženi s aktivnim vodikom iz amina ili aminske funkcionalne skupine poliamidne koaktivne reaktante) imaju vrlo dobru otpornost na vodu i kemikalije te su žilavi i otporni na habanje i termo- i mehanički udar. Međutim, budući da je smola amorfna krutina i mora se otopiti u otapalima kako bi se ukapljila i učinila pogodnom za upotrebu kao boja ili premaz, tekuće smole niže molekulske mase poput bisfenola-F i epoksidnih novolakovih smola sve više koriste formulatora za oblaganje [12].

## 5.1.2. Bisfenol-F smole

Bisfenol-F smola ima nižu molekularnu masu (približno jednu trećinu smole bisfenola-A s ekvivalentnom funkcionalnošću). Bisfenol-F smole slične su smolama bisfenola-A, osim što fenol reagira s formaldehidom, a ne s acetonom, dajući intermedijarni produkt, nakon čega ponovno reagira s epiklorohidrinom dajući konačnu bisfenol-F smolu [12].

Molekularna struktura reaktanata prikazana je na slici 5.4.



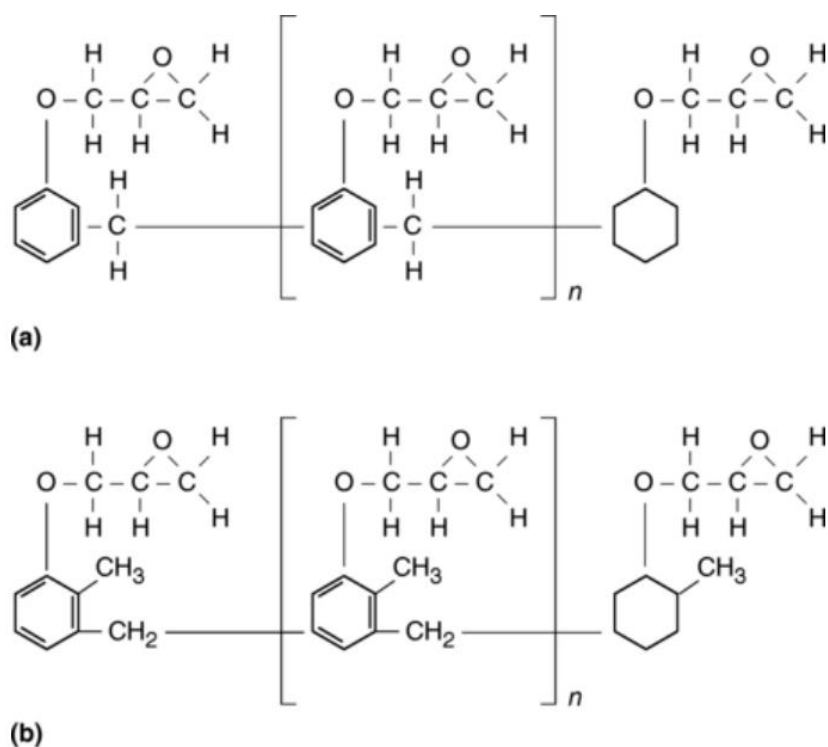
Slika 5.4. Molekularna struktura bisfenol-F epoksidne smole [12]

Bisfenol-F smole imaju veću kemijsku i toplinsku otpornost od bisfenol-A epoksidnih smola, ali imaju manju žilavost i fleksibilnost. Ova svojstva i činjenica da im nije potrebna redukcija otapala da bi postali tekući, povećali su upotrebu za premaze koji odgovaraju VOC. Bisfenol-F smole, u reakciji s aromatskim aminima i ovisnicima o aminima, mogu se formulirati kao visoke krutine i 100 % čvrsti epoksidi (s malo ili nimalo otapala) [12].

## 5.1.3. Novolac smole

Novolac smole su epoksidne smole koje su modifikacije bisfenol-F smola koje nastaju upotrebom viška fenola. Bisfenol-F je najjednostavnija novolakova smola, a sve ostale novolakove smole imaju znatno veću viskoznost od bisfenol-F smola. Jednako je važno, funkcionalnost novolaca je također znatno veća, što dovodi do još bolje kemijske otpornosti na vlagu i toplinu od bisfenola-F [12].

Molekularna struktura dviju novolačkih smola, epoksi fenol novolac i epoksi krezol novolac, predstavljeni su na slici 5.5.



Slika 5.5. Molekularna struktura novolac smola: a) epoksi fenol novolac, b) epoksi krezol novolac [12]

Epoksi fenol novolac smole su vrlo viskozne tekućine srednje tvrdoće. Epoksi krezol novolac smole su krute tvari i najčešće se koriste u premazima u prahu. Obje epoksidne smole imaju veće epoksidne funkcionalnosti od bisfenol-A i bisfenol-F smola. Njihova velika gustoća umreženih veza dovodi do ekstremne otpornosti na toplinu, kemikalije, otapala i vlagu, a često se koriste za otapala i za otpornost na mineralne kiseline pri povišenim temperaturama. Novolac epoksidne smole formulirane su za upotrebu u cijevima za vađenje nafte iz dubokih bušotina koje su izložene visokim temperaturama, mokrim i suhim kiselinama i lužinama i visokoj abraziji [12].

Međutim, zbog njihove veće gustoće umrežavanja, treba biti oprezan pri odabiru odgovarajućeg sredstva za očvršćavanje koreaktanta za umrežavanje. Inače, premaz je izuzetno lomljiv i lako puca [12].

## 5.2. Epoksidni katran ugljen

Epoksidi katrana ugljena kombinacija su katrana ugljena pomiješanog s epoksidnom smolom pakiranom u jedan spremnik. Sredstvo za otvrdnjavanje je amin, aaminski adukt ili poliamid, pakiran u zasebnu posudu. Katran ugljen djeluje kao punilo u umreženoj epoksidnoj matrici, a rezultirajući film ima dobru žilavost, prijanjanje, ultraljubičastu otpornost i toplinsku stabilnost epoksida, u kombinaciji s izuzetno visokom otpornošću vlage koju daje katran od ugljena. Kao što

se moglo očekivati, aaminski sušeni epoksidi ugljenog katrana općenito imaju veću otpornost na kemikalije i vlagu, ali su lomljiviji i teže se nanose i premazuju od epoksida katranskog kaputa sušenih aaminskim aduktom i poliamidom. S druge strane, epoksidi katran poliamidnog ugljena fleksibilniji su, lakši za završni premaz i tolerantniji su prema varijablama primjene [12].

### 5.3. Epoksi-fenolni premazi

Fenolni umreženi epoksidni premazi izuzetno su otporni na kiseline, lužine i otapala, a naširoko se koriste kao obloge za cisterne, bubnjeve, limenke, procesne spremnike i opremu. Koriste se epoksidi visoke molekularne mase s visokim udjelom hidroksilnih funkcionalnih skupina dostupnih za reakciju. Tijekom proizvodnje epoksid se pakira s fenolnom smolom (obično fenolformaldehidnom smolom), pigmentom i katalizatorom kiseline. Nakon miješanja, premaz se nanosi prskanjem, a zatim peče na temperaturama od 150 do 205 °C kako bi došlo do umrežavanja. Sustavi s više slojeva zahtijevaju kratko srednje pečenje između slojeva; dulje vrijeme pečenja obično se koristi nakon nanošenja završnog sloja [12].

Sad su dostupni i sustavi koji otvrdnjavaju na temperaturi okoline. S manjom količinom fenolne modifikacije epoksidne smole može se izvršiti sušenje premaza na zraku bez pečenja. Takvi premazi imaju izvrsnu otpornost na vlagu i kemikalije. Potrebno je paziti da premaz ne bude predebeo i tako zarobi otapala i da temperature stvrdnjavanja budu zadovoljavajuće, općenito najmanje 24 °C. Pečenjem ovih zračno suhих prevlaka poboljšat će se performanse, posebno u uranjanju [12].

Dobiveni premazi imaju izvrsnu otpornost na kiseline i otapala povezana s fenolima, kao i fleksibilnost, prijanjanje i žilavost epoksida. Epoksi fenoli imaju dobru alkalnu otpornost epoksidnog sastojka, ali ravne fenolne obloge imaju vrlo lošu alkalnu otpornost [12].

Do umreženog povezivanja dolazi između hidroksilnih skupina duž epoksidnog lanca i metilolnih skupina prisutnih u fenolnoj smoli. Moguća sekundarna reakcija je reakcija između krajnjih epoksidnih skupina epoksidne smole i hidroksilnih skupina fenolne smole [12].



#### 5.4. Tekući epoksidni premazi

Tekuća epoksidna prevlaka je sustav prevlake koji se sastoji od dvije tvari. Uglavnom se nanosi na podove i daje jedinstveni završetak u usporedbi s tradicionalnim premazima zbog svog različitog kemijskog sastava.

Dva elementa tekuće epoksidne prevlake drže se odvojeno prije nanošenja. Kada se kombiniraju, ove komponente, koje se sastoje od termoreaktivnih polimera, prolaze kroz kemijsku reakciju koja stvara usko neprohodnu vezu. Jednom kad se dogodi ova reakcija, tekući epoksidni sloj može se vrlo teško ukloniti. Uklanjanje obično zahtijeva razbijanje veze tekućeg epoksidnog premaza upotrebom metilen klorida.

Tradicionalno, tekući epoksidni premaz primjenjuje se u komercijalnim uvjetima, osobito u skladištima i automobilskim pogonima. To je slučaj jer je ovoj vrsti premaza potrebno vrlo malo održavanja i izuzetno je izdržljiva, čak i kod povremenog izlijevanja kemikalija ili benzina, prometa vozila i sl. (slika 5.6.).



*Slika 5.6. Tekući epoksidni premaz [18, 19]*

Zbog svoje besprijekorne prirode, postalo je popularan i u laboratorijskim i medicinskim prostorima. Izuzetno je sposoban zadržati čist pod u sobi bez rizika od nakupljanja prljavštine i plijesni. Tekući epoksidni premaz također se koristi u brojnim područjima poput škola i objekata za životinje zbog praktičnosti čišćenja [15].

Ostale prednosti tekućeg epoksidnog premaza uključuju [15]:

- istovremeno djeluje kao premaz i punilo
- lako se može nanijeti na neravne i hrapave površine
- otporan je na razne elemente poput kiseline, hrđe, kemikalija, korozije i topline
- vodootporan je
- isplativ je u usporedbi s drugim oblicima premaza.

Prilikom nanošenja tekućeg epoksidnog premaza, površinu treba potpuno očvrnuti, osušiti i odmastiti uz pomoć visokotlačnog mlaza vode. Zatim ga treba najekati smjesom muriatske kiseline i vode. Postupak nanošenja trebao bi biti brz, jer se premaz brzo suši [15].

### **5.5. Površinski tolerantni premazi**

Površinski tolerantni premaz (Surface tolerant) odnosi se na epoksid koji je vrlo otporan na koroziju i habanje i namijenjen je zaštiti materijala od ekstremnih industrijskih i morskih uvjeta. Ova vrsta epoksida ima mnoge industrijske namjene, među njima je istaknuto brtvljenje te primjena temeljnih premaza [15].

Površinski tolerantni premazi dizajnirani su za nanošenje na nedovoljno pripremljenu površinu. Prikladni su tamo gdje nije moguće pjeskarenje, a mogu se koristiti na čeličnim i betonskim površinama za zaštitu od korozivnih okoliša u industriji [15].

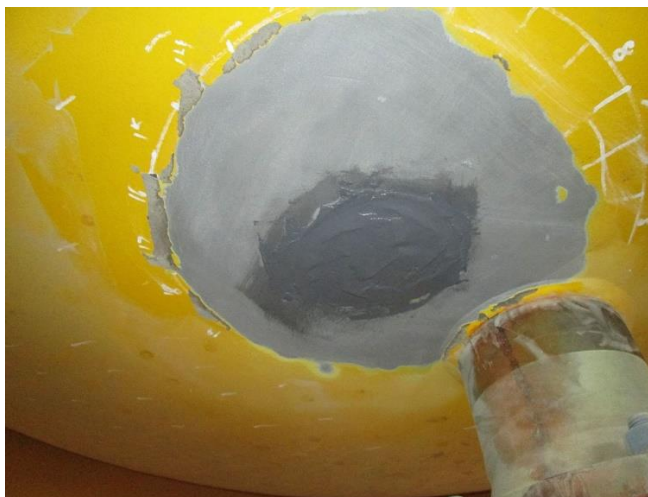
Površinski epoksid je epoksid koji je otporan na koroziju i vlagu. Površinski epoksidni premaz može se nanijeti na loše pripremljenu ili ne pripremljenu vlažnu ili mokru podlogu. Ovi epoksidi su antikorozivni, površinski podnošljivi i dilatibilni u vodi. Ovo je vrlo korisno tamo gdje metal može korodirati. Ovaj epoksid može se formulirati za morske i druge ekstremne industrijske uvjete. Također je upotrebljiv i otporan na uranjanje u slatkoj i slanoj vodi. Čvrst je, a njegov premaz otporan na habanje, nudi dobru dugotrajnu zaštitu od korozije. Ova epoksidna prevlaka daje izvrsnu adheziju sa željeznim i obojenim podlogama. Izvedba površinski tolerantnih premaza ovisi o odgovarajućim specifikacijama, formulacijama i primjeni [15].

Ovaj se epoksid može nanositi na niz podloga, na primjer [15]:

- ručno pripremljeni već korodirani čelik
- čelik obrađen vodenim mlazom i abrazivima
- razni odstajali i mehanički oštećeni premazi.

Također je prikladan za zaštitu i na otvorenom i pod vodom. Upotrebom ovog epoksida mogu se zaštititi [15]:

- spremnici (slika 5.7.a)
- cjevovodi, krovne palube, vodotornji
- konstrukcijski čelik i oprema postrojenja
- brodovi, obalne strukture (slika 5.7.b)
- ostale varijante površina izloženih vlazi, kemikalijama i korozivnom okruženju.



a)



b)

Slika 5.7. Površinski otporan epoksidni premaz: a) zaštita spremnika, b) zaštita obalne strukture [20, 21]

## 5.6. Dvokomponentni epoksidni premazi

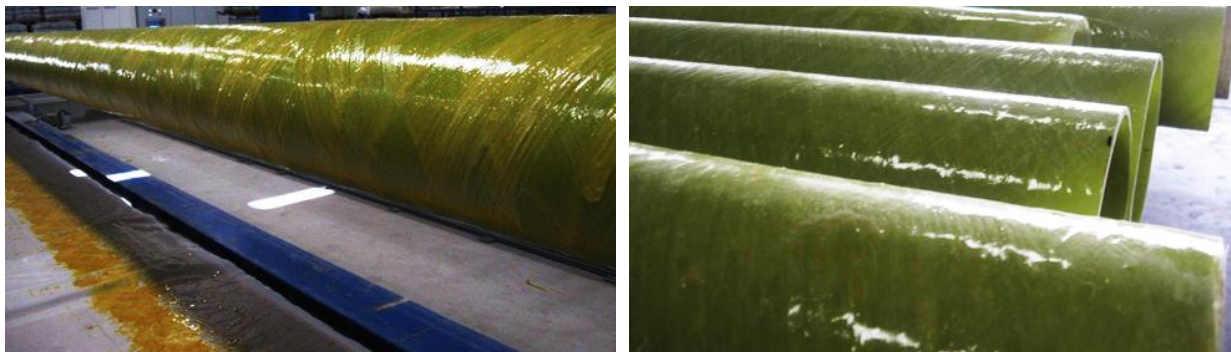
Ovo je ljepljivi polimer koji ima izvrsne karakteristike lijepljenja, što ga čini korisnim u popravcima metala i cijevi. Uglavnom se sastoji od smole i kombinacije otvrdnjivača. Ova tehnologija smatra se najboljim sustavom za upotrebu kada se žele postići vrhunski i savršeni popravci. Koristi se za lijepljenje istrošenih dijelova i brtvljenje ispucalih površina. Ova epoksidna tehnologija pomogla je u smanjenju vremena otvrdnjavanja. Njegova vodootpornost pomaže u sprečavanju korozije površine podloge [15].

Polimerna tehnologija našla se na vrhu liste rješenja koja se koriste za popravak i obnovu metalnih dijelova. Otvrđjava brže od uobičajenog epoksida. Dolazi u različitim bojama, tako se može odabrati prava boja koja se stapa sa podlogom. Dvokomponentni epoksid proizveden je za izradu različitih specifikacija koje se mogu učinkovito koristiti. Neki pružatelji imaju tablice koje pomažu u specificiranju i odabiru pravog proizvoda [15].

## 5.7. Epoksid ojačan staklenim vlaknima

Epoksid ojačan staklenim vlaknima (GRE) pripada skupini polimera ojačanih vlaknima. To je kompozitni materijal koji se sastoji od epoksidne smole, koristi se kao osnovna polimerna matrica, ojačana staklenim vlaknima. Spomenuti epoksid se široko koristi kao alternativa ugljičnom čeliku, posebno u industrijskim cjevovodima, zbog svoje otpornosti na koroziju, kemijske otpornosti, niske toplinske vodljivosti, relativno male težine i poželjnih mehaničkih svojstava [15].

Epoksid ojačan staklenim vlaknima posebno je raširen u naftnoj i plinskoj industriji zbog prednosti koje ima u odnosu na čelik. Cijevi, brtve, kućišta i spojevi izrađeni su pomoću njega kako bi zaštitili opremu od oštećenja koja nastaju uslijed visokih temperatura, visokog tlaka i korozivnih okruženja koja se često nameću pri ekstrakciji i transportu nafte i plina (slika 5.8.). Uz to, obično se preferiraju komponente takvog epoksida jer ih je lakše instalirati i rukovati njima zbog male težine. Međutim, poznato je da epoksid ojačan staklenim vlaknima razvija tijekom vremena nedostatke jer stari u agresivnim uvjetima. Starenje epoksida značajno smanjuje čvrstoću. Između slojeva armaturnih vlakana mogu se pojaviti mikropukotine i delaminacija što rezultira propuštanjem, smanjenjem ukupnih svojstava i otkazivanjem materijala [15].



Slika 5.8. Cijevi od epoksida ojačanog staklenim vlaknima [22]

## 5.8. Epoksid ojačan keramičkim kuglicama

Da bi se pružila dugotrajna zaštita od habanja, abrazije, kemijskog napada i korozije, premazi otporni na habanje na bazi epoksida koji sadrže keramička punila mogu se nanijeti na osjetljive metalne površine kako bi ih zaštitili i smanjili planirani i neplanirani zastoj. Te prevlake djeluju kao požrtvovna i obnovljiva radna površina čuvajući strukturni integritet osnovne podloge i sprječavajući mehanički udar, kemijsku razgradnju i koroziju uzrokovanu abrazivnim česticama,

i kemijskom izlaganju. Ovi premazi mogu se nanijeti na istrošenu opremu za restauraciju ili na novu opremu prije nego što se stavi u upotrebu [23].

Izuzetno glatki i visoko sjajni keramički premazi otporni na habanje na bazi epoksida povećavaju učinkovitost opreme i životni vijek. Ovi premazi mogu biti brzo i isplativo sredstvo za oštećene dijelove, jer se dijelovi vraćaju u rad s malim prekidima rada [23].

Smjesu čine dvodijelni epoksidni sustavi koji sadrže keramičke kuglice ili keramički prah i silicijev karbid. Polimer na bazi epoksida je izuzetno robustan, nudeći izvrsne performanse pod velikim kompresijskim i udarnim opterećenjima. Ovi premazi se stvrđavaju na temperaturama između 13 °C i 32 °C, s vremenom stvrđavanja koji ovisi o masi i temperaturi - što je veća masa, to je i stvrđavanje brže. To je rezultat egzotermne topline koja nastaje epoksidnom reakcijom tijekom postupka stvrđavanja. Više temperature podloge i zraka također će rezultirati ubrzanim stvrđavanjem [23].

Budući da je keramika inertna, ne reagira s većinom materijala koji dolaze u kontakt s metalnim komponentama. Keramičke prevlake otporne su na jake kemikalije i podnose temperature do 232 °C. Veličina keramičkog materijala - praha ili kuglica - koji se koristi u premazu otpornom na habanje izravno odgovara veličini čestica koje će u konačnici oštetiti metalne komponente. Za velike čestice i kamenje stručnjaci za održavanje trebali bi koristiti premaze s najvećim raspoloživim keramičkim perlicama. Za otpadne vode dovoljna je fina keramika u prahu da spriječi oštećenja. Keramički epoksidni premazi koriste se za povećanje performansi i učinkovitosti pumpi na raznim crpkama veličine od 20 do 1750 KS [23].

Slika 5.9. prikazuje unutrašnjost pumpe nakon premazivanja epoksidom, ojačanim s keramičkim kuglicama



Slika 5.9. Unutrašnjost pumpe nakon premazivanja epoksidom, ojačanim s keramičkim kuglicama [24]

## 6. PRIPREMA POVRŠINE PRIJE NANOŠENJA PREMAZA

Zakoni koji se odnose na zdravlje radnika i zaštitu okoliša imali su značajan utjecaj na industriju premaza. Na primjer, iako praksa čišćenja čelične površine pjeskarenjem i nanošenje sustava alkidnih, epoksidnih ili poliuretanskih premaza ostaje jedan od najboljih načina zaštite od korozije za mnoge čelične površine, sami alkidi, epoksidi i poliuretani promijenili su se kao rezultat zakonskih propisa kojim se ograničava oslobađanje hlapivih organskih spojeva (otapala) i uporaba otrovnih pigmenata [12].

Za premaze koji zahtijevaju samo minimalnu površinsku pripremu, uobičajeno je površinu metala tretirati kemijskim i ručnim čišćenjem ili električnim alatom. Može ostati čvrsta hrđa koja dobro prijanja, okujina ili prethodni premaz pod uvjetom da se ne može ukloniti podizanjem tupim nožem za kit pomoću umjerenog pritiska [25].

### 6.1. Kemijske metode čišćenja

Ova metoda uključuje uklanjanje prljavštine, ulja, masti i drugih stranih materijala organskim otapalima, deterdžentima ili komercijalnim sredstvima za čišćenje pomoću jednog od nekoliko načina čišćenja, kao što su brisanje, čišćenje parom ili uranjanje [25].

#### 6.1.1. Odmašćivač

Uklanja prljavštinu, masnoću, ulje, ljepljivo, katran i još mnogo toga. Prije upotrebe potrebno ga je miješati jednu minutu. Nanosi se izravno na površinu koju je potrebno istrljati četkom ili krpom i temeljito isprati čistom vodom ili obrisati vlažnom krpom. Za velike površine, sredstvo za čišćenje / odmašćivanje, razrijeđuje se vodom. Sve površine moraju biti suhe prije nanošenja premaza [25].

#### 6.1.2. Čišćenje parom

Preporučuje se za uklanjanje masnih naslaga, ulja, soli, kiselina, lužina i sličnih kemijskih ostataka s velikih površina. Za maksimalnu učinkovitost, čišćenje parom treba koristiti u kombinaciji s alkalnim čišćenjem. Prije premazivanja, površina mora biti temeljito suha i bez ostataka [25].

Slika 6.1. prikazuje obradu površine parom prije nanošenja premaza.



Slika 6.1. Obrada površine parom prije nanošenja premaza [26]

### 6.1.3. Alkalno čišćenje

Koristi se za uklanjanje prašine, prljavštine, voska, masti, ulja, soli, ostataka kiseline itd. Površinu treba ribati jakim komercijalnom otopinom deterdženta kao što je trinatrijev fosfat (TSP), a zatim temeljito isprati čistom vodom. Prije premazivanja površina mora biti potpuno suha i bez ostataka [25].

### 6.1.4. Čišćenje hlapljivim otapalima

Prije početka čišćenja, prostor treba dobro prozračiti. Otapalo se krpama, spužvicama ili četkama nanosi na površinu te se utrljava kako bi se uklonila masnoća i ulje. Obično je potrebno nekoliko uzastopnih nanošenja, svaki put koristeći čiste krpe i otapalo [25].

## 6.2. Metode čišćenja ručnim ili električnim alatom

### 6.2.1. Čišćenje ručnim alatom

Slabo prijanjajuća hrđa, kamenac i oštećeni premazi mogu se učinkovito ukloniti upotrebom ručnih i električnih alata. Pjeskarenje se može koristiti kao alternativa struganju i četkanju žicom (slika 6.2.). Prije struganja i četkanja žicom, kemijskim čišćenjem treba ukloniti masnoću, ulje, sol, kemijsku prašinu i ostala onečišćenja. Za uklanjanje prijanjajuće hrđe, laganog valjaoničke okujine ili prethodnih premaza na velikim površinama obično je potrebno čišćenje pjeskarenjem [25].



Slika 6.2. Žičana četka [27]

Temeljito treba ostrugati ili obrisati površine žičanom četkom kako bi se dobila čvrsto prijanjuća površina, čista i bez stranih tvari, kako bi se osiguralo dobro prijanjanje premaza. S električnim alatima treba biti oprezan kako bi se izbjeglo poliranje metalne površine ili njezino preduboko abraziranje. Čvrsto prijanjuće premaze koji su vrlo tvrdi ili sjajni treba izbrusiti kako bi se uklonio sjaj i ohrapavila površina. To će pridonijeti maksimalnom prijanjanju novog premaza. Pažljivo treba pregledati postojeće premaze da li ispod njih ima znakova hrđe. Ako postoje, premaze na tim područjima treba ukloniti [25].

#### 6.2.2. Čišćenje električnim alatom

Čišćenje električnim alatom metoda je pripreme čeličnih površina upotrebom električnih alata (slika 6.3.).



Slika 6.3. Rotacijska žičana četka [27]

Nakon čišćenja površine električnim alatom, ne smije biti vidljivih naslaga ulja i masnoće i ostataka okujine, hrđe, boje i ostalih štetnih tvari. Ovim postupkom nije predviđeno uklanjanje kamenca, hrđe i boje [27].



### 6.3. Metode čišćenja mlazom vode

Mlaz vode pod visokim i ultra visokim tlakom koristi se za postizanje različitih stupnjeva površinske čistoće (slika 6.4.). Ova je metoda ograničen na upotrebu vode bez dodavanja čvrstih čestica u struji mlaza [25].



Slika 6.4. Čišćenje površine mlazom vode [27]

Ovom metodom postiže se [25]:

- čišćenje metala vodenim mlazom do gole podloge
- vrlo temeljito čišćenje metala vodenim mlazom
- temeljito čišćenje metala vodenim mlazom
- lagano čišćenje metala vodenim mlazom.

Glavna prednost mlaza vode je uklanjanje svih onečišćenja koja uključuju kemijske tvari (tj. soli).

Najbolje učinkovita metoda za uklanjanje soli s površine [27].

Prednosti ove metode su [27]:

- vraćanje postojećeg površinskog profila (neće oštetiti postojeći profil u projektu održavanja)
- uklanjanje cjelokupnog onečišćenja
- vrlo učinkovit postupak.

Nedostaci ove metode su [27]:

- nema stvaranja površinskog profila
- troškovi opreme su vrlo visoki
- visoka operatorska vještina je obavezna
- vrlo opasno zbog visokog pritiska.

## 6.4. Metode čišćenja abrazivom

### 6.4.1. Suho abrazivno pjeskarenje

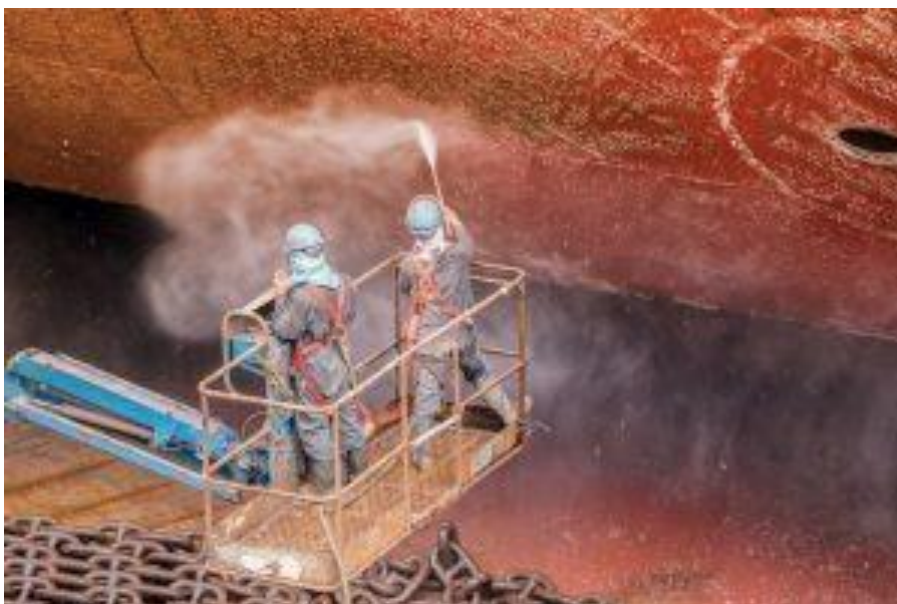
Najprikladnija i najučinkovitija metoda za pripremu čeličnih podloga za premazivanje je abrazivno čišćenje mlazom što je prikazano na slici 6.5. Tijekom pripreme površine nadržavaju površinu koja osigurava kemijsko, mehaničko i polarno lijepljenje nanesenog premaza. Obavezno ga je primijeniti za određene funkcije, poput uranjanja u vodu i izloženosti visokim temperaturama. Pažljiv odabir opreme, mlaznica i abraziva bitan je za ekonomičan rad i postizanje željenih rezultata. Treba izbjegavati upotrebu grubih abraziva [25, 27].



Slika 6.5. Čišćenje suhim abrazivom [27]

### 6.4.2. Mokro abrazivno pjeskarenje

Oprema za mokro čišćenje abrazivnim pjeskarenjem identična je opremi za suho abrazivno pjeskarenje, međutim, kod mokrog abrazivnog pjeskarenja abrazivne čestice uključene su u vodeni mlaz (slika 6.6.). Zbog stvaranja prašine (onečišćenja zraka) suhim abrazivnim pjeskarenjem, mnogi izvođači preferiraju mokre metode abrazivnog pjeskarenja za kontrolu okolišnih onečišćenja [27].



*Slika 6.6. Čišćenje mokrim abrazivom [27]*

Mokra površina može brzo oksidirati i stvoriti nekvalitetnu površinu za prihvaćanje premaza. Kako bi se ublažila ili spriječila oksidacija, koriste se inhibitori korozije. Inhibitori moraju biti kompatibilni s premazima, u suprotnom može doći do lošeg prianjanja [27].

## 7. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada ispitivane su tri vrste dvokomponentnih epoksidnih prevlaka. Ispitivana su fizikalna svojstva i svojstva korozijske otpornosti *Belzona* premaza serije 1000; *Belzona 1321* (Ceramic S-Metal), *Belzona 1212* te *Belzona 1391T*. Ispitivanja su provedena u Laboratoriju za zaštitu materijala te Laboratoriju za tribologiju, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Nakon pripreme površina i nanošenja premaza, provedena su fizikalna ispitivanja otpornosti premaza na abraziju i eroziju, otpornost premaza na udarce, prionjivost pomoću Pull-off testa te tvrdoću premaza.

Ispitivanje svojstava korozijske otpornosti premaza provedeno je u vlažnoj komori prema normi HRN ISO 6270-2.

### 7.1. Priprema uzoraka

Ispitivanja su provedena na uzorcima od niskougljičnog konstrukcijskog čelika. Prije postupka nanošenja prevlaka potrebno je dodatno pripremiti površinu uzoraka. Operacije koje su bile potrebne za pripremu su:

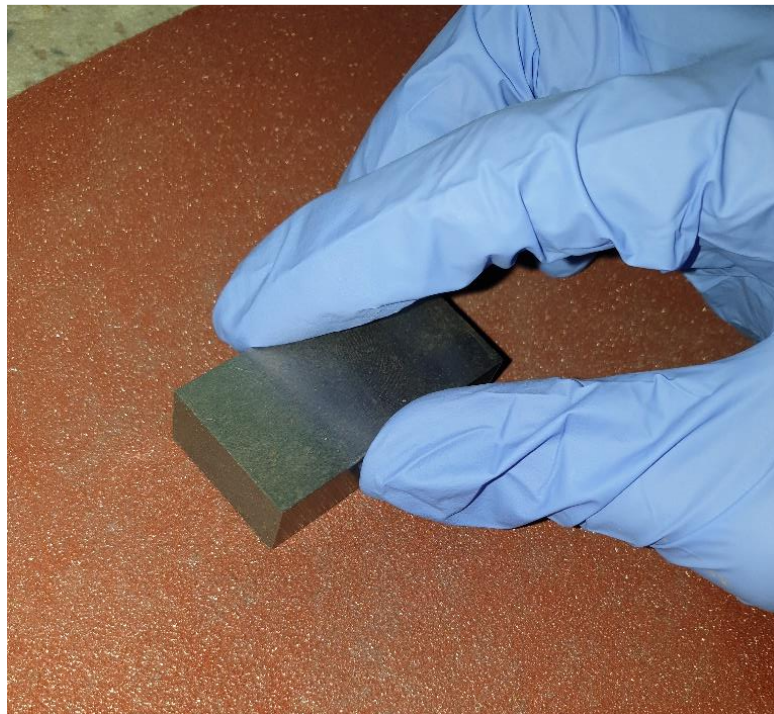
- pjeskarenje površine većih uzoraka kako bi se odstranile razne nečistoće te osiguralo kvalitetnije prianjanje za pologu
- hrapavljenje površine uz pomoć brusnog papira izvršeno je na manjim površinama uzoraka kako bi se osiguralo kvalitetnije prianjanje prevlake na podlogu, te
- odmašćivanje uzoraka acetonom.

Pjeskarenje površine uzoraka provedeno je u komori za pjeskarenje u Laboratoriju za ljevarstvo na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (slika 7.1.). Kao abraziv korišten je kvarcni pijesak, granulacije 0,3 mm.



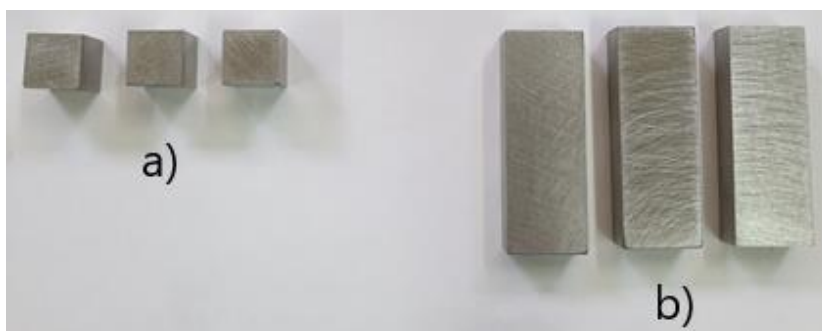
*Slika 7.1. Komora za pjeskarenje (lijevo) i postupak pjeskarenja (desno)*

Uzorci korišteni za ispitivanje na abraziju i eroziju očišćeni su korištenjem brusnog papira granulacije 60, jer za postizanje što bolje adhezije između zaštitne prevlake i površine uzorka nužno je hrapavljenje, slika 7.2.



*Slika 7.2. Hrapavljenje površine uz pomoć brusnog papira*

Na slici 7.3. prikazani su uzorci s nahrapavljenom površinom, prije nanošenja premaza.



Slika 7.3. Nahrupavljeni uzorci prije nanošenja premaza: a) uzorci za ispitivanje na eroziju, b) uzorci za ispitivanje na abraziju

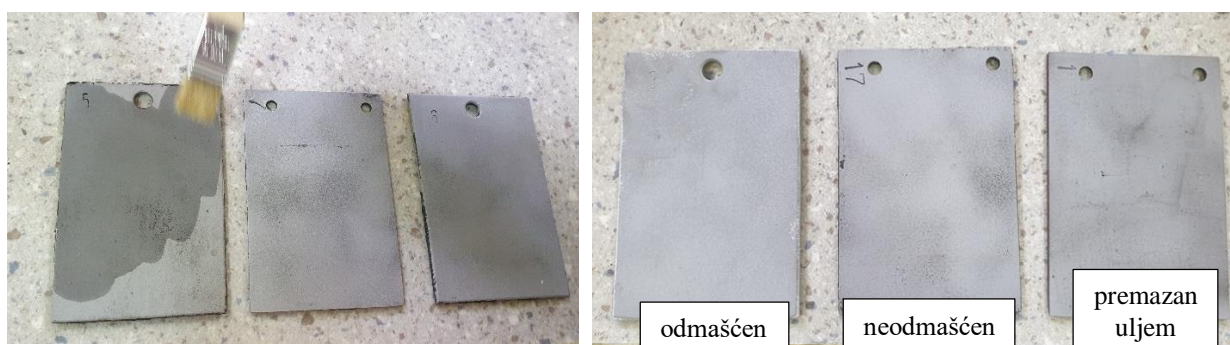
Nakon mehaničkog čišćenja uzorci su odmašćeni acetonom uz pomoć kista, slika 7.4.



Slika 7.4. Odmašćivanje površine uzoraka acetonom

Površine uzoraka namijenjene ispitivanju u vlažnoj komori pripremljene su na tri različita načina. Površina prvog uzorka je odmašćena (slika 7.5. lijevo), površina drugog uzorka nije odmašćena, a površina trećeg uzorka premazana je motornim uljem.

Nakon provedenih postupaka, uzorci su pripremljeni za nanošenje prevlake kako prikazuje slika 7.5. (desno).

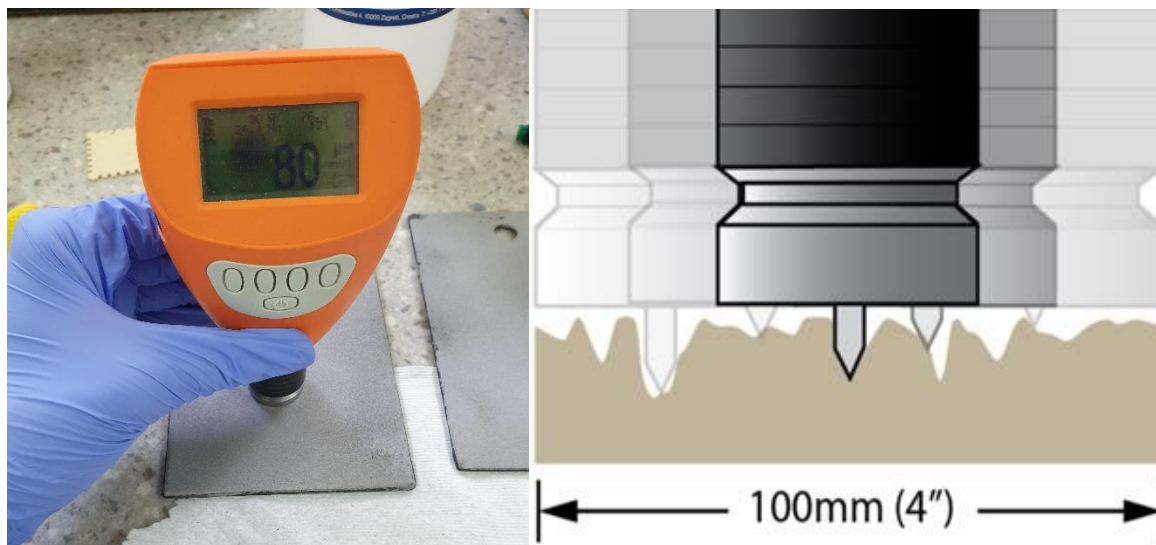


Slika 7.5. Odmašćivanje uzorka namijenjenog ispitivanju u vlažnoj komori (lijevo) i uzorci spremni za nanošenje premaza s tri različite pripreme površine (desno)

## 7.2. Mjerenje hrapavosti uzorka

Prije nanošenja premaza površinu uzorka treba "aktivirati", a to je provedeno hrapavljenjem površine na otprilike 45  $\mu\text{m}$  brusnim papirom, a standardnim pjeskarenjem na oko 75  $\mu\text{m}$ . Kada se površina hrapavi ručno, brusnim papirom, potrebno je to izvršiti u četiri smjera.

Uređaj korišten za mjerenje površinskog profila je Elcometer 224 (slika 7.6.).



Slika 7.6. Elcometer 224, uređaj za mjerenje površinskog profila [28]

Korišten uređaj je Elcometer 224 koji je vrlo jednostavan za upotrebu. Umjeruje (kalibrira) se na staklu i kada se uređaj postavi na površinu, igla s oprugom mjeri dubinu profila od vrhova profila na toj određenoj točki. Budući da mjerna točka nije nužno na samom dnu doline, nego bi se mogla nalaziti i negdje na padini, provedeno je ili 5 ili 10 pojedinačnih mjerenja, nakon čega se očitavaju. Da bi utvrdili prosječni površinski profil područja, zabilježeno je 10 točkastih mjerenja za svako područje uzorka.

U tablici 7.1. prikazani su rezultati mjerenja površinskog profila uzoraka namijenjenih za ispitivanje u vlažnoj komori.

Tablica 7.1. Hrapavost površine uzoraka namijenjenih za ispitivanje u vlažnoj komori

Uzorak	Minimum, $\mu\text{m}$	Maksimum, $\mu\text{m}$	Srednja vrijednost $\mu\text{m}$
I – O	55	106	78,5
I – B	52	98	77,3
I – U	54	82	70,6
II – O	69	101	88,1
II – B	52	103	82,7
II – U	50	127	79,5
III – O	65	107	81,3
III – B	58	112	82,6
III – U	68	105	80,4

- I – O → B 1321, odmašćen uzorak  
 I – B → B 1321, neodmašćen uzorak  
 I – U → B 1321, uzorak premazan uljem  
 II – O → B 1212, odmašćen uzorak  
 II – B → B 1212, neodmašćen uzorak  
 II – U → B 1212, uzorak premazan uljem  
 III – O → B 1391T, odmašćen uzorak  
 III – B → B 1391T, neodmašćen uzorak  
 III – U → B 1391T, uzorak premazan uljem

### 7.3. Nanošenje dvokomponentnih epoksidnih prevlaka na uzorke

Dvokomponentne (baza + otvrdivač) epoksidne prevlake koje su nanešene na uzorke, a koriste se za noadogradnju i zaštitu metala od kemijskih utjecaja i korozije su *Belzona 1321* (Ceramic S-Metal), *Belzona 1212* te *Belzona 1391T*.

*Belzona 1321* (Ceramic S-Metal) je epoxy premaz punjen keramikom za zaštitu od erozije i korozije metalnih površina. *Belzona 1321* (Ceramic S-Metal) se može nanositi bez potrebe specijalističkih alata te će se čvrsto vezati na široki raspon podloga. Taj višenamjenski polimerski premaz neće korodirati te ima veliku otpornost na široki spektar kemikalija [20].

Slika 7.7. prikazuje bazu i otvrdivač Belzone 1321 epoxy premaza.





Slika 7.7. Belzona 1321 (Ceramic S-Metal) epoxy premaz

Primjena 1321 (Ceramic S-Metal) epoxy premaza [20]:

- centrifugalne pumpe
- ventili
- vakuumske pumpe
- procesni spremnici
- odvajači plina
- izmjenjivači topline
- rotori
- dosjedi i prirubnice
- zglobovi cijevi
- t – profili
- kućište propelera
- dijelovi spremnika vode
- separatori.

Prednosti ovog proizvoda su [20]:

- specijalistički alati nisu potrebni
- može se nanijeti kistom, aplikatorom ili injekcijskim pištoljem
- niska temperatura stvrdnjavanja smanjuje rizik od požara
- odlične karakteristike električne instalacije
- bez otapala
- prigodan za kontakt s pitkom vodom

- nema skupljanja, ekspanzije ili distorzije
- čvrsto se vezuje uz gotovo sve krute površine uključujući čelik, aluminij, bakar, mesing i polimer ojačan staklenim vlaknima
- odlična otpornost na abraziju i erozijsku – koroziju
- odlična kemijska otpornost
- velika kompresijska izdržljivost
- ne korodira.

Belzona 1212 je epoxy kompozit za hitne popravke u pogonu, tolerantan na masne, vlažne i loše pripremljene površine. Ovaj višenamjenski materijal bez otapala pokazuje brzo stvrdnjavanje i izvrsno prijanjanje na ručno pripremljene podloge, gdje se pjeskarenje ne može provesti. Belzona 1212 lako se miješa i nanosi bez potrebe za specijalnim alatima, a idealna je za brze popravke i hitne situacije, osiguravajuće brzo vraćanje istrošenih dijelova u pogon [20].

Slika 7.8. prikazuje komponente Belzona 1212 epoxy kompozita.



Slika 7.8. Belzona 1212 epoxy kompozit

Primjena Belzona 1212 epoksidnog kompozita [20]:

- lijepljenje ploča, punjenje korozijskih jama i lokalizirani popravak mokrih, orošenih ili kontaminiranih cijevi ulja
- in-situ brtvljenje curenja ulja i tekućine na spremnicima, motorima, prijenosnicima, transformatorima i spremnicima
- dugotrajni popravak kopnenih konstrukcija i pomorske opreme, uključujući brodske trupove, kormila, propelere i balastne tankove
- podvodni popravci, idealni za upotrebu u zonama prskanja i obalnim strukturama.

Prednosti ovog kompozita su [20]:

- brzi popravci na licu mjesta, čak i na niskim temperaturama
- izvrsna mehanička svojstva koja osiguravaju trajnost i dugovječnost u radu
- jednostavan omjer mješavine 1:1 olakšava miješanje i nanošenje bez potrebe za specijalnim alatima
- smanjen rizik za zdravlje i sigurnost jer ne sadrži otapala
- izvrsna otpornost na koroziju i kemikalije
- može se obraditi pomoću konvekcionalnih alata
- izvrsno prijanjanje na ručno pripremljenu vlažnu, onečišćenu uljem i podvodnu podlogu.

Belzona 1391T je premaz za aplikaciju kistom otporan na visoke temperature, eroziju i koroziju u uronjenim uvjetima. Belzona 1391T je dvokomponentni epoksidni premaz ispunjen keramikom koji pruža otpornost na eroziju i koroziju opremi koja radi pod uronom do 120 °C. Nudi izvrsnu otpornost na širok raspon vodenih otopina, ugljikovodika i procesnih kemikalija.

Ovaj sustav bez otapala s dva sloja nanosi se jednostavnim ručnim alatima na područja koja zahtijevaju maksimalnu otpornost na eroziju [20].

Na slici 7.9. prikazane su komponente Belzona 1391T keramički ojačanog epoksidnog premaza.



Slika 7.9. Belzona 1391T, keramički ojačan epoksidni premaz

Primjena Belzona 1391T epoksidnog premaza [20]:

- visokotemperaturni premazi za procesne posude, destilacijske kolone, izmjenjivače topline, pročišćivače i uređaje za pročišćavanje koji rade uronjeni
- zaštita pumpi, ventila, spremnika tople vode i separatora od utjecaja erozije i korozije
- strukturalno ljepilo visoke čvrstoće za lijepljenje metala

Prednosti ovog keramički ojačanog epoksidnog premaza su [20]:

- djeluje na visokoj temperaturi u uronjenim uvjetima
- izvrsna otpornost na eroziju i koroziju
- smanjen rizik za zdravlje i sigurnost jer ne sadrži otapala
- dobra svojstva električne izolacije
- velika tlačna čvrstoća
- nanošenje i očvršćavanje na sobnoj temperaturi - bez vrućih radova
- izvrsna kemijska otpornost na širok spektar kemikalija
- nema skupljanja, širenja ili izobličenja
- izvrsno se lijepi za mnoge metalne površine, uključujući čelik, nehrđajući čelik i specijalne čelike
- prikladno za povišene temperature do 210 °C

Kod dvokomponentnih premaza, prije miješanja, potrebno je odrediti točnu količinu, tj. omjer pojedinih komponenata. Dva su moguća načina miješanja odgovarajuće količine proizvoda, maseno i volumno. Te podatke moguće je isčitati iz dokumentacije proizvođača o navedenom proizvodu, kao i radni vijek, tj. vrijeme raspoloživo za apliciranje nakon miješanja komponenti (Prilog 1, Prilog 2, Prilog 3).

U tablici 7.2. prikazani su podaci iz dokumentacije proizvođača.

Tablica 7.2. Upute za miješanje komponenata te radni vijek

VRSTA PROIZVODA	OMJER MIJEŠANJA baza : otvrdivač		RADNI VIJEK (vrijeme raspoloživo za apliciranje, nakon miješanja komponenti)	
	MASENO g	VOLUMNO cm <sup>3</sup>	Temperatura °C	Vrijeme min
<b>Belzona 1321</b>	11 : 1	4 : 1	5	120
			15	60
			25	30
			30	20
<b>Belzona 1212</b>	5 : 6	1 : 1	5	20
			10	16
			20	9
			30	6
			40	4
<b>Belzona 1391T</b>	8,5 : 1	4 : 1	10	90
			20	45
			30	22

Neki materijali imaju preveliku razliku u količini pa se miješaju isključivo po masenom udjelu. U ovom radu, komponente su miješane na temelju volumnih udjela.

Na slici 7.10. prikazan je pribor namijenjen za miješanje i nanošenje proizvoda.



a)

b)

Slika 7.10. Pribor za miješanje i nanošenje premaza: a) plastične špatule i nož, b) aplikator i kistovi

Nož se koristi za miješanje komponenata (baze i očvršćivača) premaza većih količina te za nanošenje na relativno pristupačne površine, dok se špatule koriste za nanošenje na manje i zaobljene ili udubljene površine. Aplikator služi kako bi se nakon nanošenja premaza isti poravnao i ujednačio, a kistovi se koriste za odmašćivanje površine uzoraka, podloge na kojoj se miješaju komponente (slika 7.11.) kako ne bi došlo do lijepljenja izmiješanih komponenata za podlogu te za čišćenje pribora nakon završetka premazivanja.

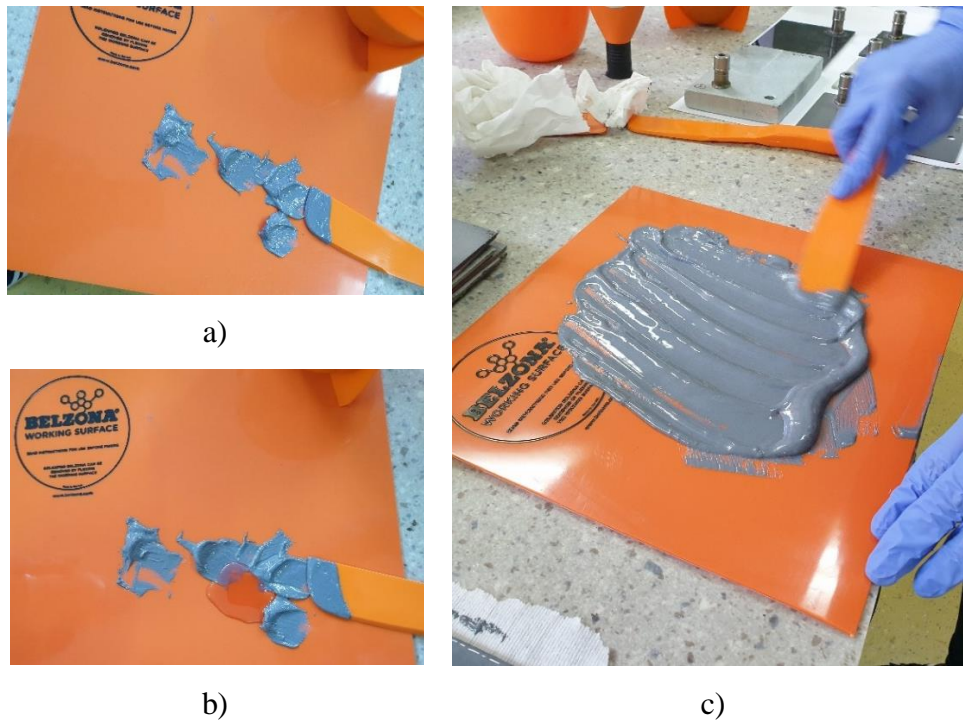


Slika 7.11. Odmašćivanje radne površine na kojoj se miješaju komponente

Odmašćivanje prije početka miješanja je bitno kako izmiješane komponente ne bi prijanjale uz radnu površinu i pribor pri miješanju i nanošenju premaza te ujedno olakšava kasnije čišćenje pribora. Nakon odmašćivanja potrebno je ostaviti pribor da se dobro osuši.

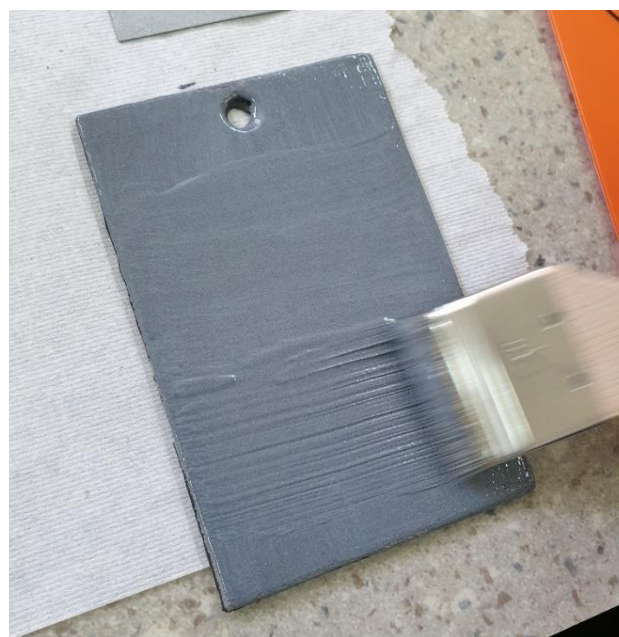
Na radnu površinu stavljena su četiri jednaka kupa baze te jedan odvrđivača. Komponente su dobro izmiješane dok se ne postigne jednolika sivkasta boja bez tragova pojedine komponente. Pošto je u ovom slučaju otvrđivač bio u tekućem obliku, proces miješanja bio je jednostavniji i brži. Miješanje je obavljeno pri temperaturi od  $25 \pm 2$  °C, te je vrijeme raspoloživo za apliciranje u tom slučaju, za navedeni premaz, 30 min. Zanimljivo je da tijekom miješanja ako je materijal na kupu, brže otvrdnjava jer mu se diže temperatura, a ako se materijal raširi po radnoj površini, otvrdnjavanje teče sporije.

Slika 7.12. prikazuje određivanje potrebne količine komponenata proizvoda Belzona 1321 te miješanje prije nanošenja na ispitne uzorke.



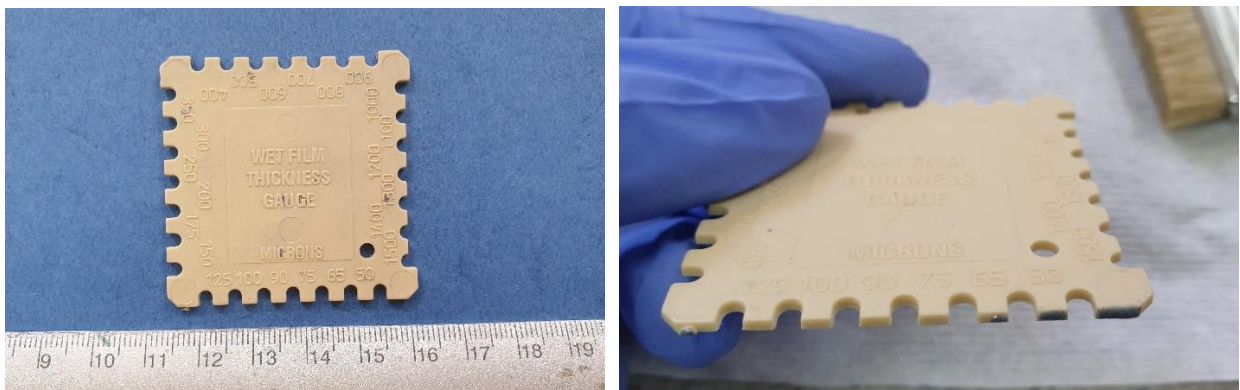
Slika 7.12. Priprema premaza Belzona 1321: a) volumno određivanje količine baze, b) volumno određivanje količine otvrđivača, c) miješanje komponenti

Nakon što su komponente dobro izmiješane te je postignuta jednolika sivkasta boja, premaz je spreman za nanošenje, a nanešen je u dva sloja. Prema dokumentaciji proizvođača potrebno je da svaki sloj bude debljine oko 250 mikrona. Premaz se također nanosi u dva smijera kako bi se sve pore popunile. Na slici 7.13. prikazano je nanošenje prevlake na uzorak za ispitivanje u vlažnoj komori.



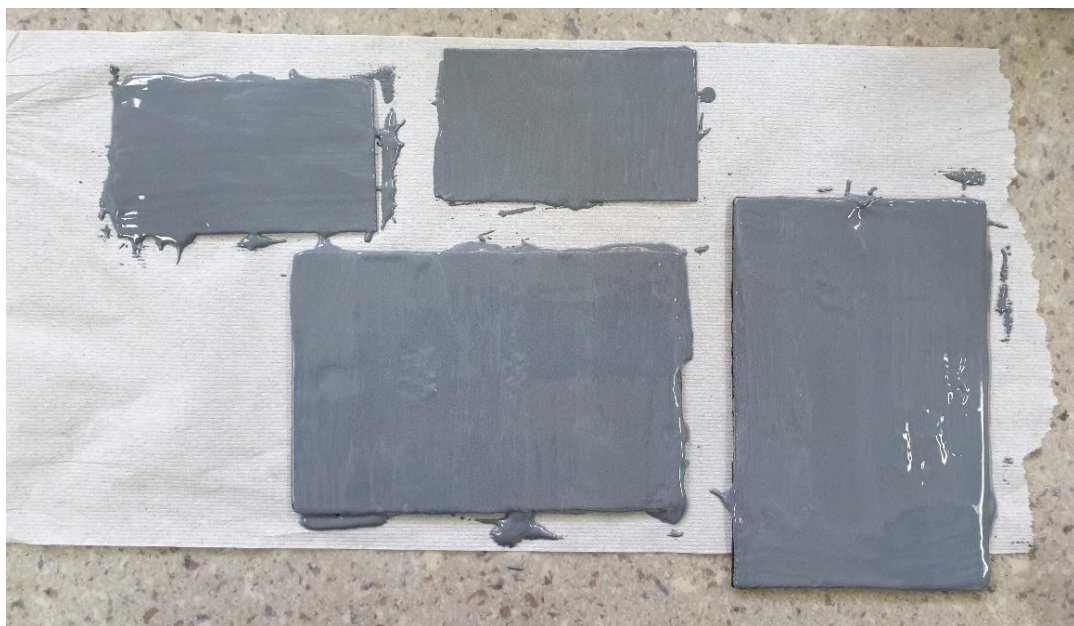
Slika 7.13. Nanošenje Belzona 1321 premaza na ispitni uzorak

Za apliciranje premaza na ispitni uzorak korišten je kist, kojim je jednoliko raspodijeljen sloj premaza po čitavoj površini. Nakon što je premaz poravnan, mjerena je debljina sloja uz pomoć mjerača debljine mokrog filma (slika 7.14. lijevo). Dostupni su u širokom rasponu veličina, dizajna i materijala. Dostupne su i vrste nehrđajućeg čelika i plastike za jednokratnu upotrebu. Svi se sastoje od zuba različitih duljina izrezanih na bok. Mjerač, umočen u nanoseni premaz, odmah se nakon nanošenja ukloni i ispita. Debljina mokrog filma nalazi se između najkraćih vlažnih i najdužih vrijednosti suhih zuba. Utvrđena je debljina mokrog filma od 60 mikrona (slika 7.14. desno).



Slika 7.14. Mjerač debljine mokrog filma (lijevo) i mjerač nakon ispitivanja (desno)

Na slici 7.15. prikazani su uzorci nakon nanošenja premaza.



Slika 7.15. Uzorci nakon nanošenja premaza Belzona 1321



Slika 7.16. prikazuje postupak određivanja potrebne količine komponenata Belzona 1212 koji se miješanje u omjeru 1 : 1. Baza je tamnije, a očvršćivač svjetlije boje.



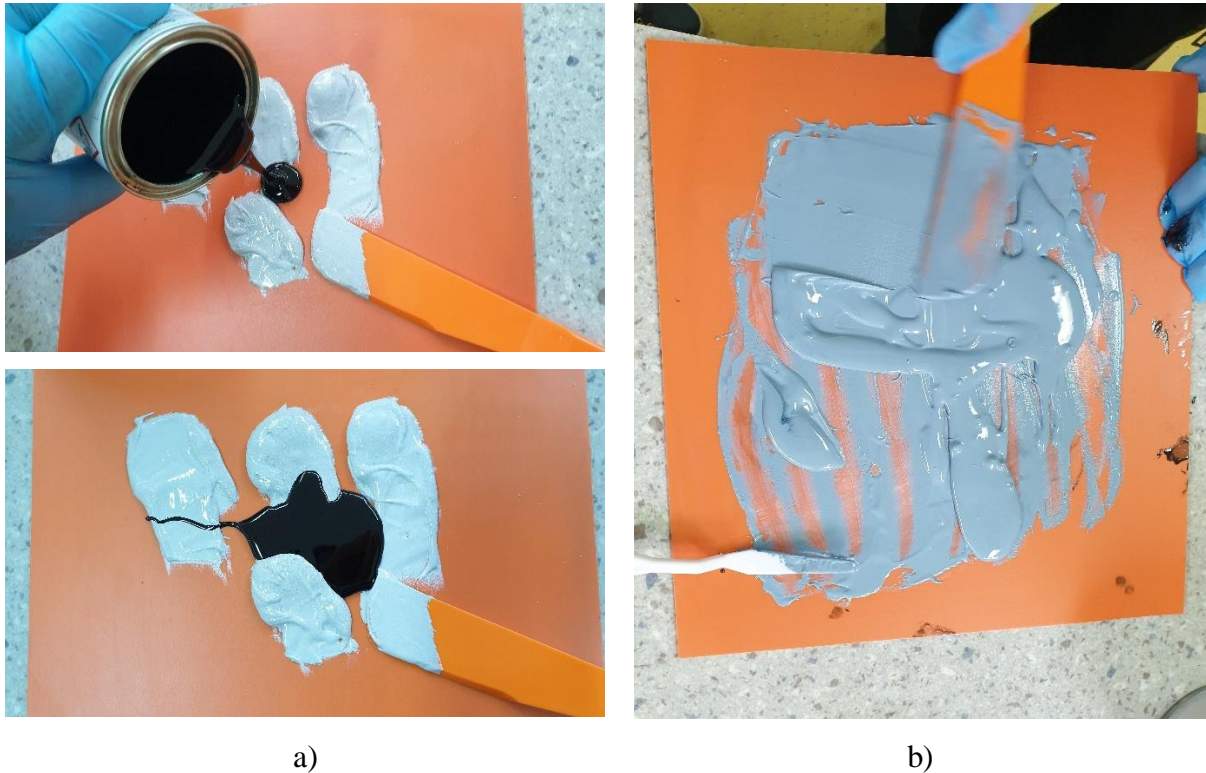
*Slika 7.16. Određivanje potrebne količine komponenti Belzona 1212*

Na isti način, kao kod prethodnog premaza, dobrim miješanjem komponenti dobivena je jednolika tamnosiva pasta kako ne bi ostalo tragova istih. U ovom slučaju otvrđivač je gušći i samim time premaz je tvrdi, teže se nanosi i brže stvrdnjava. Miješanje je obavljeno pri temperaturi od  $22 \pm 2$  °C, te je vrijeme raspoloživo za apliciranje u tom slučaju, za navedeni premaz, 9 min. Za apliciranje premaza na ispitni uzorak korišten je aplikator, kojim je jednoliko raspodijeljen sloj premaza po čitavoj površini. Debljina sloja ovog premaza trebala bi iznositi između 500 i 700 mikrona. Pri nanošenju treba se čvrsto utisnuti premaz na površinu uzorka kako bi se popunile sve pukotine, uklonio zarobljeni zrak te osigurao maksimalan kontakt s površinom. Izgled uzoraka nakon nanošenja premaza prikazan je na slici 7.17.



*Slika 7.17. Uzorci nakon nanošenja premaza Belzona 1212*

Slika 7.18. prikazuje određivanje i miješanje komponenata premaza Belzona 1391T. U ovom slučaju omjer je kao kod prvospomenutog premaza 4 : 1, uz tekući učvršćivač koji omogućuje jednostavnije i lakše miješanje i apliciranje premaza.



Slika 7.18. Priprema premaza Belzona 1391T: a) određivanje količine baze i učvršćivača, b) miješanje komponenti

Komponente su dobro izmiješane dok nije postignuta jednolika plavičasta boja paste bez tragova pojedine komponente, a nanešena je u dva sloja. Prema dokumentaciji proizvođača potrebno je da svaki sloj bude debljine oko 250 mikrona. Miješanje je obavljeno pri temperaturi od  $22 \pm 2$  °C, te je vrijeme raspoloživo za apliciranje u tom slučaju, za navedeni premaz, 45 min. Premaz je također nanešen u dva smijera kako bi se sve pore popunile.

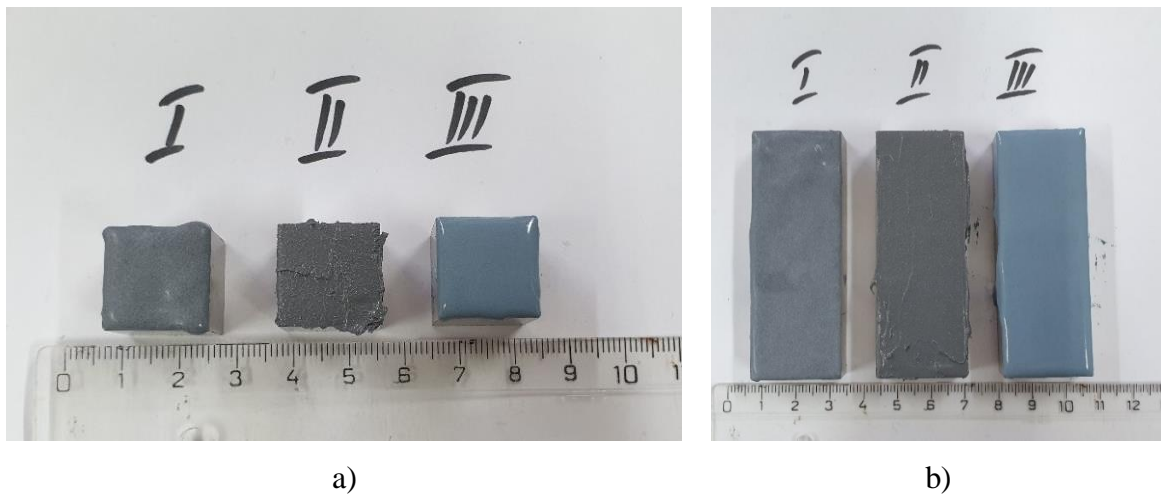
Slika 7.19. prikazuje nanošenje premaza na uzorak za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje. Za apliciranje premaza na ispitni uzorak korištena je mala špatula, kojom je jednoliko raspodijeljen sloj premaza po čitavoj površini.



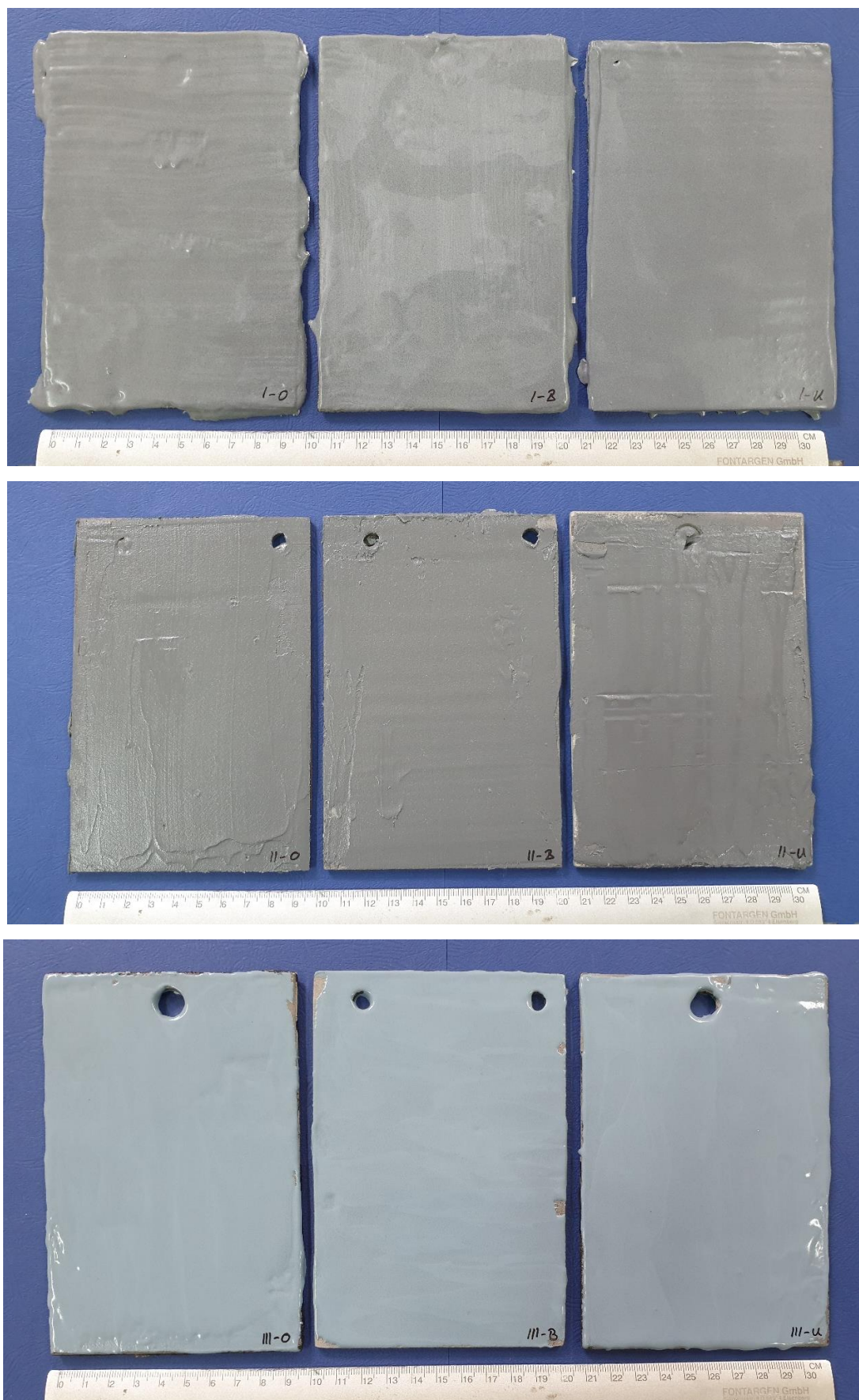
Slika 7.19. Nanošenje Belzona 1391T premaza na uzorak

Uzorci nakon nanošenja i otvrdnuća premaza prikazani su na slikama 7.20., 7.21. i 7.22.

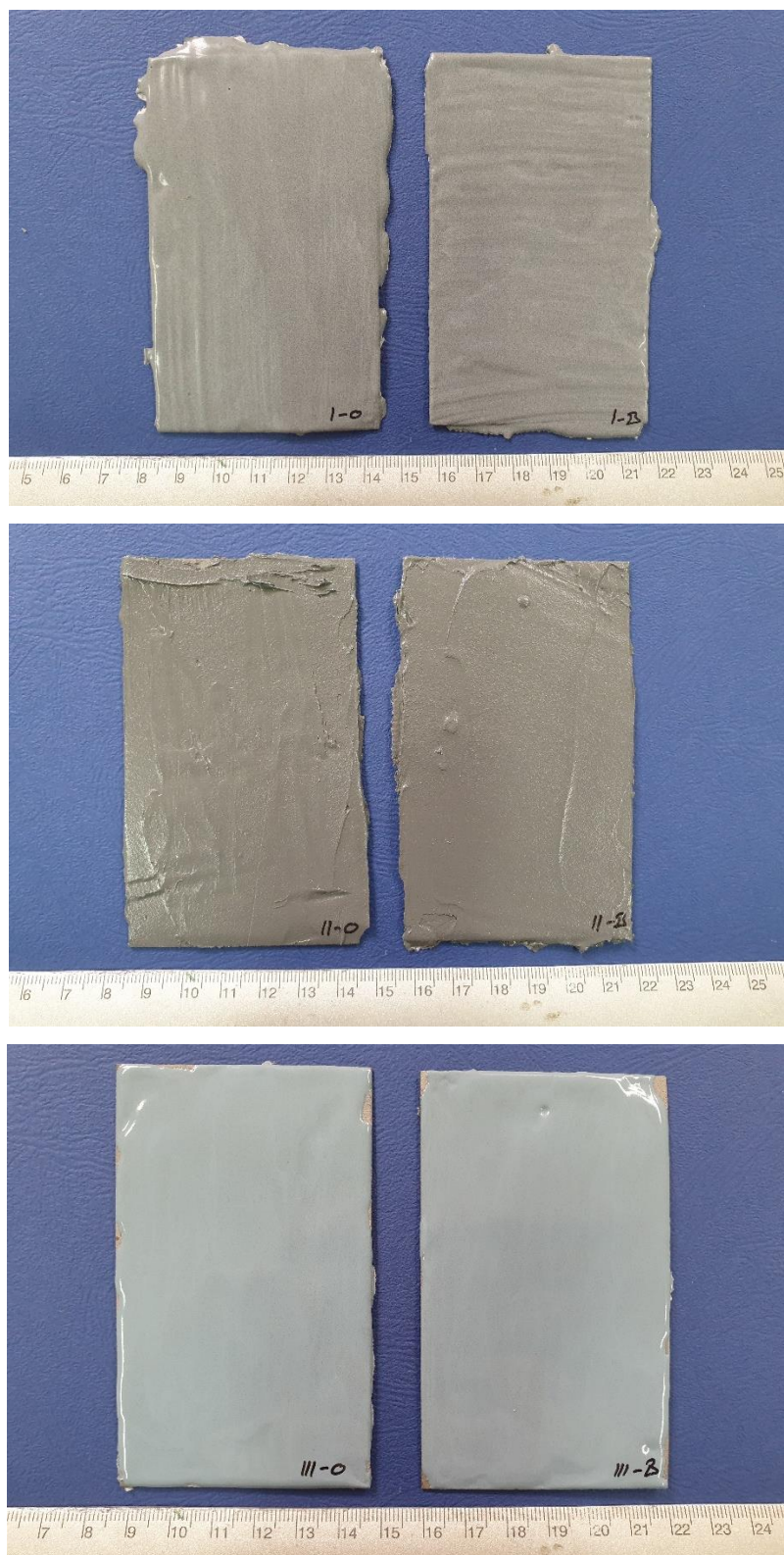
Nakon otvrdnuća premaza, vidljiva je razlika u izgledu površine pojedinog premaza, tj. njihova hrapavost.



Slika 7.20. Uzorci nakon otvrdnuća premaza: a) uzorci za erozijsko ispitivanje, b) uzorci za abrazijsko ispitivanje



Slika 7.21. Uzorci nakon otvrdnuća premaza prije ispitivanja u vlažnoj komori



Slika 7.22. Uzorci nakon otvrdnuća premaza prije ispitivanja prionjivosti, tvrdoće te otpornosti na udar

#### 7.4. Mjerenje debljine premaza

Nakon što su se premazi osušili i otvrdnuli potrebno je izmjeriti debljinu filma premaza svakog uzorka. Taj postupak proveden je u Laboratoriju za zaštitu materijala, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu te je za njega korišten uređaj QuaNix 1500. Ispitivanje je provedeno prema normi ISO 2808 (slika 7.23.).



Slika 7.23. Mjerenje debljine filma premaza pomoću uređaja QuaNix 1500

Kao klasičan među mjeračima debljine filma, ne može se zamisliti njegovo odsustvo u industriji korozije i dorade metala. Kao patentirani elektronički mjerač debljine premaza s dvije neovisne sonde za čelik i željezo, kao i nemetalnim podlogama i čitljivim dupleksnim LCD zaslonom, QuaNix® 1500 ima neobično širok spektar upotrebe. Prošireni opseg mjerenja te ravan dizajn ovog mjerača omogućuje mjerenja na teško dostupnim točkama.

Na uzorcima većih površina, uzorci namijenjeni ispitivanju na abrazijsko trošenje te kemijskih svojstava, izvršeno je deset mjerenja na različitim mjestima pojedinog uzorka, dok je na uzorcima manjih dimenzija, namijenjenih ispitivanju otpornosti na eroziju, izvršeno pet mjerenja za svaki uzorak na različitim mjestima površine.

U tablici 7.3. prikazani su podaci dobiveni mjerenjem debljine filma pojedinog uzorka.

Tablica 7.3. Debljine filma premaza na pojedinim uzorcima

	Uzorak	Min. debljina premaza, $\mu\text{m}$	Maks. debljina premaza, $\mu\text{m}$	Prosječna debljina, $\mu\text{m}$
Uzorci za kemijsko ispitivanje u vlažnoj komori	I – O	282	447	338
	I – B	232	391	311
	I – U	358	493	443
	II – O	357	446	410
	II – B	396	490	451
	II – U	363	511	429
	III – O	506	759	637
	III – B	428	780	536
	III – U	724	930	840
Uzorci za fizikalna ispitivanja	I – O	279	426	353
	I – B	209	488	310
	II – O	425	568	504
	II – B	344	581	488
	III – O	663	793	736
	III – B	577	937	760
Uzorci za ispitivanje otpornosti na eroziju i abraziju	I – E	695	845	765
	II – E	422	880	576
	III – E	1440	1640	1547
	I – A	420	733	529
	II – A	319	398	356
	III – A	1410	1890	1633

Odstupanja koja se javljaju na pojedinim uzorcima u debljini filma premaza, rezultat su ručnog nanošenja i ravnjanja premaza svakog uzorka te malih odstupanja u visini pojedinog uzorka.

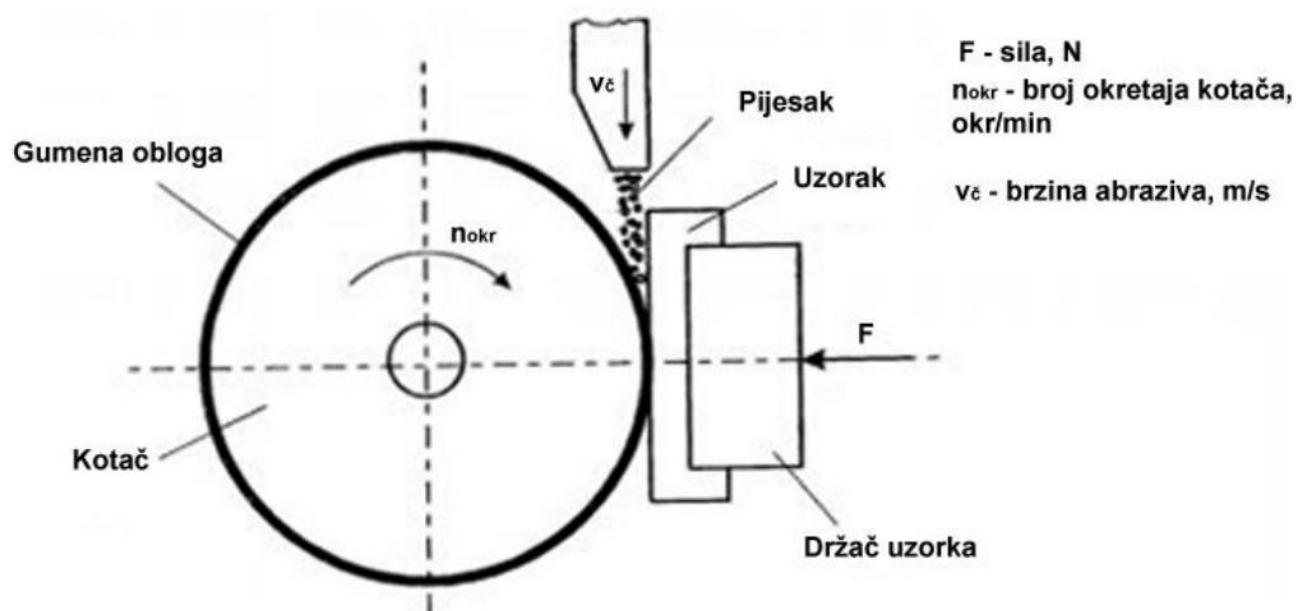
### 7.5. Ispitivanje fizikalnih svojstava premaza

Uloga premaza je, osim zaštite materijala od korozije i kemijskih utjecaja, da međuostalim spriječi abrazijsko i erozijsko trošenje materijala. U nastavku rada opisana su ispitivanja abrazijske i erozijske otpornosti premaza pojedinim metodama.

## 7.5.1. Ispitivanje abrazijske otpornosti premaza metodom suhi pijesak / gumeni kotač

Abrazivno habanje nastaje kada se rezanjem s površine uzorka ukloni dio materijala. To može biti namijenjeni i kontrolirani postupak u proizvodnji komponenata, poput brušenja, ili se može dogoditi slučajno u radu stroja, poput trošenja zuba kopača pri radu u šljunku. Može se dogoditi i s trljanjem dvije glatke površine, ali i ulaženjem malih tvrdih čestica između njih. Abrazivne površine pokazuju oštećenja koja se mogu kretati od sitnih ogrebotina do dubokih rupa. Ako je komponenta izrađena od žilavog materijala, kao što je čelik, ostaci trošenja mogu biti spiralnog oblika, slično obradivoj ploči. Za vrlo tvrde materijale ostaci trošenja obično imaju oblik iverja [29].

Na slici 7.24. prikazan je shematski prikaz uređaja za mjerenje otpornosti na abrazijsko trošenje.



Slika 7.24. Shematski prikaz ispitivanja abrazijske otpornosti metodom "suhi pijesak/gumeni kotač" prema ASTM G65-94 normi [30]

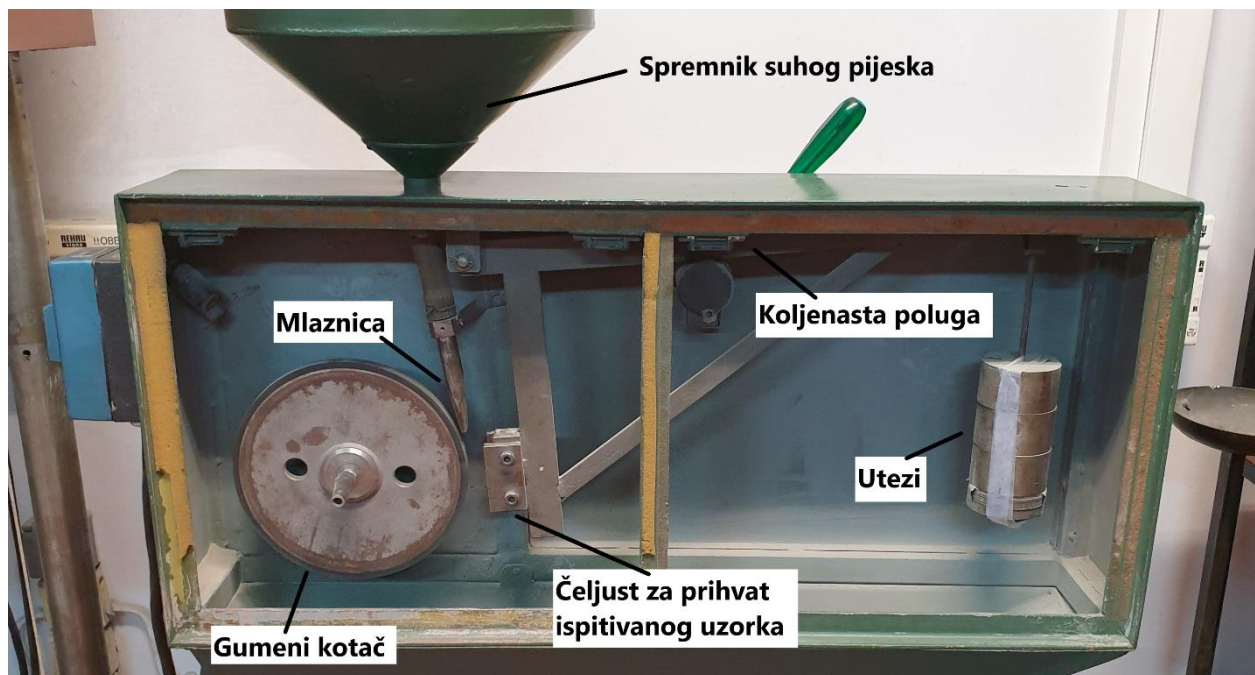
Ispitivanjem otpornosti na abraziju metodom "suhi pijesak/gumeni kotač" kojom se kvarcni pijesak dovodi između uzorka i rotirajućeg kotača obloženog gumom, te se uzorak važe prije i poslije ispitivanja, a gubitak mase preračunava se kao gubitak volumena  $\Delta V$  [ $mm^3$ ], predstavlja jedan od najznačajnijih parametara pri rangiranju materijala prema otpornost na trošenje.

Uzorak je pritisnut uz kotač polugom s vlastitim opterećenjem. Ispitivanje se izvodi tijekom određenog razdoblja. Protok pijeska u zazor između površina kontrolira se geometrijom mlaznice koja mora biti vrlo pažljivo definirana kako bi se dobila potrebna brzina protoka pijeska. Abraziv samo jednom prolazi kroz sučelje istrošenosti i baca se na kraju ispitivanja. Abraziv korišten za potrebe ovog ispitivanja je kvarcni pijesak  $SiO_2$ , tvrdoće oko 1200 HV te veličine čestica 0,15 –



0,25 mm. Svojstva gumene obloge kotača također imaju velik utjecaj na rezultate i treba ih pažljivo kontrolirati [29].

Slika 7.25. prikazuje dijelove uređaja za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje.



Slika 7.25. Dijelovi uređaja za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje

Ova ispitna metoda obuhvaća pet preporučenih postupaka koji su prikladni za određene stupnjeve otpornosti na habanje ili debljine ispitnog materijala.

*Postupak A* - Ovo je relativno teško ispitivanje kojim će se metalni materijali rangirati na širokoj skali gubitka volumena od male do ekstremne otpornosti na habanje. Posebno je koristan u razvrstavanju materijala srednje do ekstremne otpornosti na habanje.

*Postupak B* - Kratkotrajna varijacija postupka A. Može se koristiti za visoko abrazivne materijale, ali je posebno korisna u rangiranju srednje i niskootpornih materijala. Postupak B treba koristiti kada vrijednosti gubitaka u volumenu razvijene postupkom A prelaze  $100 \text{ mm}^3$ .

*Postupak C* - Kratkotrajna varijacija postupka A za upotrebu na tankim premazima.

*Postupak D* - Ovo je lakša varijacija opterećenja postupka, što je posebno korisno za razvrstavanje materijala s niskom otpornošću na habanje. Također se koristi za rangiranje materijala određenog generičkog tipa ili materijala koji bi bili vrlo bliski u stopama gubitaka u volumenu kako je razvijeno postupkom A.

*Postupak E* - Kratkotrajna varijacija postupka B koja je korisna u rangiranju materijala sa srednje ili niskom otpornošću na habanje [31].

Parametri korišteni u ispitivanju premaza navedeni su u tablici 7.4.

Tablica 7.4. Parametri ispitivanja otpornosti premaza na abrazijsko trošenje

Sila na ispitivani uzorak, N	Vrijeme ispitivanja, s	Vrsta abraziva
45	30, 20, 10	Kvarc, $SiO_2$

Postupak ispitivanja sastojao se od slijedećih koraka:

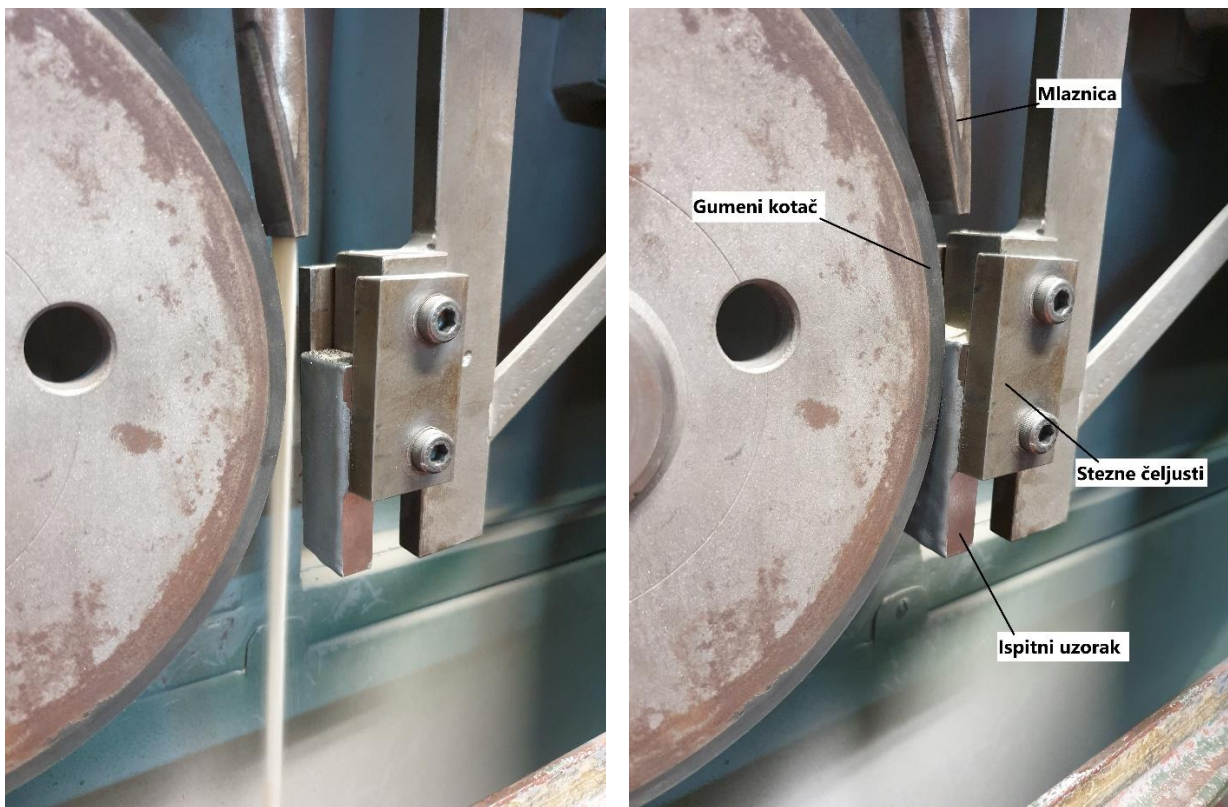
- mjerenje mase ispitivanih uzoraka prije ispitivanja
- ispitivanje otpornosti pojedinog uzorka na abrazijsko trošenje u različitim vremenskim intervalima
- mjerenje mase ispitivanih uzoraka nakon svakog ciklusa ispitivanja.

Mjerenje mase uzoraka izvršeno je u Laboratoriju za tribologiju pomoću vage METTLER B5C 1000, rezolucije 0,0001 g prikazanoj na slici 7.26.



Slika 7.26. Vaga METTLER B5C 1000

Slika 7.27. prikazuje stezne čeljusti koje pridržavaju ispitni uzorak za vrijeme ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje te način prijanjanja gumenog kotača na površinu premaza.



Slika 7.27. Ispitni uzorak u steznim čeljustima pri ispitivanju otpornosti na abrazijsko trošenje

Mjera otpornosti na abrazijsko trošenje je gubitak volumena koji se računa preko gubitka mase i gustoće pojedinog premaza prema formuli (1):

$$V = \frac{m}{\rho} \text{ cm}^3 \quad (1)$$

Gustoća premaza korištena u formuli za izračun gubitka volumena, uzeta je iz tehničke dokumentacije proizvođača za pojedini premaz (Prilog 4, Prilog 5, Prilog 6):

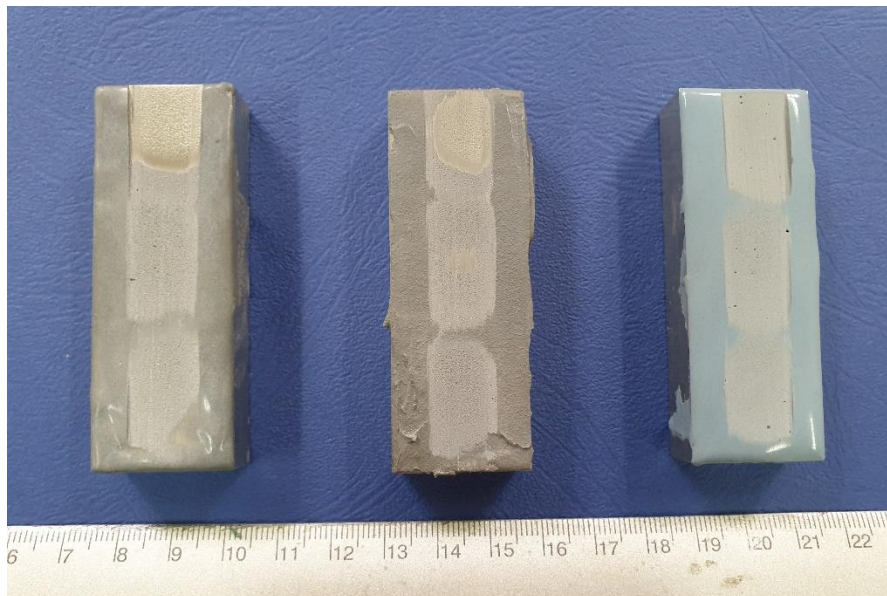
- $\rho_{1321} = 2,40 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_{1212} = 2,12 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_{1391T} = 1,87 \text{ g/cm}^3$

U tablici 7.5. navedeni su rezultati dobiveni ispitivanjem otpornosti uzoraka na abrazijsko trošenje koji su imali premaze Belzona 1321, Belzona 1212 te Belzona 1391T.

Tablica 7.5. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje

Uzorak	Vrijeme ispitivanja, s	Masa uzorka $m$ , g	Gubitak mase premaza $\Delta m$ , g	Prosječan gubitak mase premaza $\Delta m'$ , g	Prosječan gubitak volumena premaza $\Delta V' = \Delta m' / \rho$ , cm <sup>3</sup>
1321	0	156,1525		0,18583	0,077429
			0,2563		
	30	155,8962			
			0,1665		
	20	155,7297			
			0,1347		
1212	0	154,7525		0,17770	0,083821
			0,2495		
	30	154,503			
			0,1885		
	20	154,3145			
			0,0951		
1391T	0	157,2170		0,17516	0,093668
			0,2618		
	30	156,9552			
			0,1380		
	20	156,8172			
			0,1257		
10	156,6915				

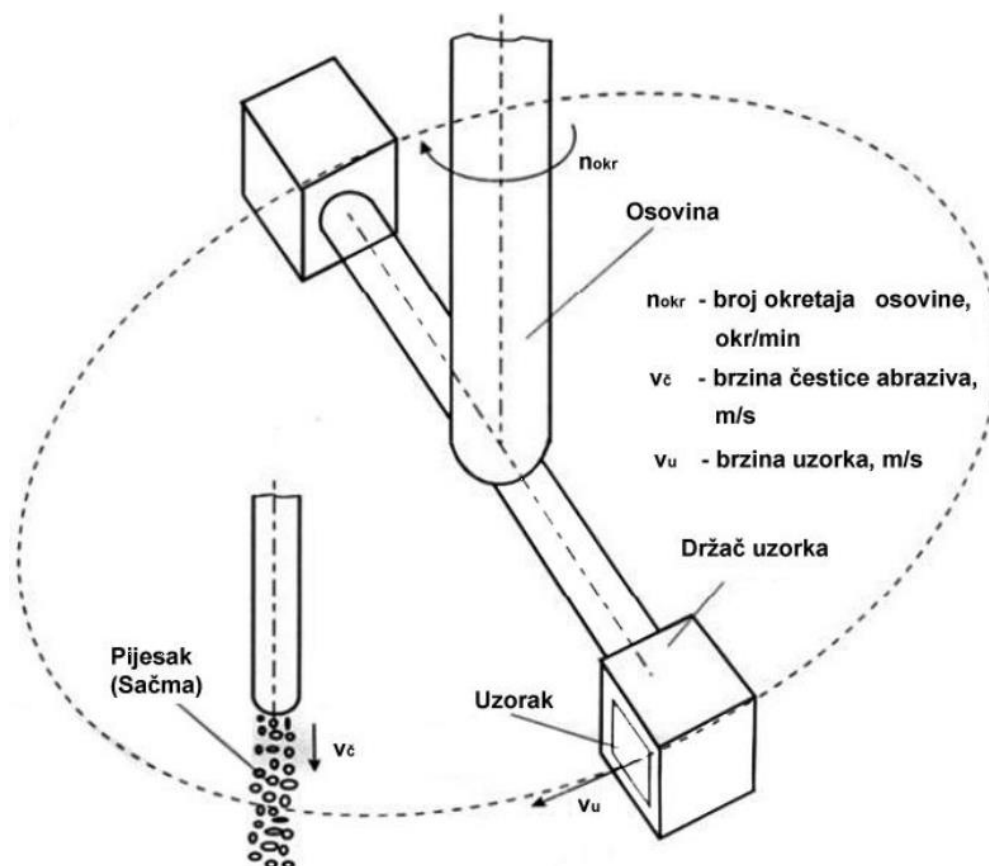
Na slici 7.28. prikazani su uzorci nakon tri ciklusa ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje s vidljivim tragovima trošenja. Epoksidno vezivo gubi fizikalna svojstva uslijed zagrijavanja trenjem te dolazi do trošenja premaza. Iz prethodne tablice je vidljivo kako je premaz Belzona 1321 najotporniji na abrazijsko trošenje.



Slika 7.28. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na abrazivsko trošenje premaza (gornji trag 30 s, srednji trag 20 s i donji trag 10 s)

#### 7.5.2. Ispitivanje otpornosti premaza na erozijsko trošenje

Na slici 7.29. prikazan je shematski prikaz uređaja za mjerenje otpornosti na erozijsko trošenje.

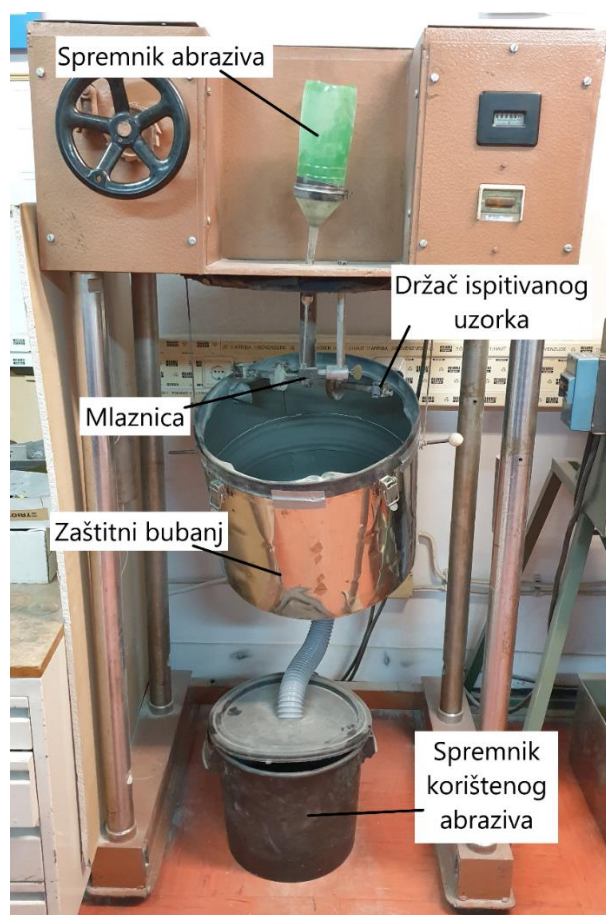


Slika 7.29. Shematski prikaz ispitivanja otpornosti premaza na erozijsko trošenje [30]

Erozija uključuje uklanjanje materijala s površine uzorka brzim udarom tekućine ili struje tvrdih čestica u protoku fluida. Dvije uobičajene vrste erozije su kavitacijska erozija i erozija čestica. Kavitacijska erozija javlja se na komponentama koje su pod niskim privremenim tlakom fluida, poput brodskih propelera, a proizlazi iz intenzivnog lokalnog utjecaja urušavanja mjehurića pare niskog tlaka na površinu komponente. Erozija čestica nastaje kada je tok tvrdih čestica usmjeren na površinu uzorka. To može biti namjerno izazvano, kao u postupcima sačmarenja, ili može nastati slučajno, na primjer u cjevovodima i povezanim komponentama koje nose suspenzije ili sirovu naftu koja sadrži pijesak [29].

Ispitivanje otpornosti premaza na erozijsko trošenje provodi se tako da se uzorci, koji se nalaze na držačima uzoraka, rotiraju velikom brzinom oko osovine te pri tome udaraju o čestice abraziva, tj. suhog pijeska, koje slobodnim padom izlaze iz spremnika kroz sapnicu. Na taj način dolazi do erozijskog trošenja na površini uzorka u koji udaraju čestice. Kut upada čestica moguće je regulirati ovisno o vrsti ispitivanja.

Za ispitivanje otpornosti premaza na erozijsko trošenje, korišten je uređaj sa slike 7.30., a ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za tribologiju, FSB Zagreb.



Slika 7.30. Dijelovi uređaja za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje

Također, kao i kod prethodnog ispitivanja, uzorcima se prije i nakon ispitivanja mjeri masa te se gubitak mase preračunava kao gubitak volumena  $\Delta V [mm^3]$ .

Prema formuli (2), brzina kojom ispitivani uzorak udara o čestice abraziva iznosi:

$$v_u = \frac{D\pi n_{okr}}{60} = 24,265 \text{ m/s} \quad (2)$$

Gdje je:

$v_u$  – brzina vrtnje uzoraka, m/s

$D$  – promjer držača u kojem su smješteni uzorci tijekom vrtnje ( $D = 322 \text{ mm}$ )

$n_{okr}$  – broj okretaja osovine držača ( $n_{okr} = 1440 \text{ 1/min}$ )

Abraziv korišten za potrebe ovog ispitivanja je kvarcni pijesak  $SiO_2$ , tvrdoće oko 1200 HV te veličine čestica 0,15 – 0,25 mm. Kut udara čestica je  $90^\circ$  čime je premaz izložen najvećem stupnju erozije.

Parametri korišteni u ispitivanju polimernih premaza navedeni su u tablici 7.6.

Tablica 7.6. Parametri ispitivanja otpornosti premaza na erozijsko trošenje

Broj okretaja osovine držača, 1/min	Vrijeme ispitivanja, min	Vrsta abraziva
1440	7, 14, 21	Kvarc, $SiO_2$

Postupak ispitivanja sastojao se od slijedećih koraka:

- mjerenje mase ispitivanih uzoraka prije ispitivanja
- ispitivanje otpornosti pojedinog uzorka na erozijsko trošenje u različitim vremenskim intervalima
- mjerenje mase ispitivanih uzoraka nakon svakog ciklusa ispitivanja.

Mjerenje mase uzoraka izvršeno je u Laboratoriju za tribologiju pomoću vage METTLER B5C 1000, rezolucije 0,0001 g.

Slika 7.31. prikazuje ispitni uzorak u držaču prije početka ispitivanja.



Slika 7.31. Ispitni uzorak u držaču prije početka ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje

Gustoća premaza korištena u formuli (1) za izračun gubitka volumena, uzeta je iz tehničke dokumentacije proizvođača za pojedini premaz (Prilog 4, Prilog 5, Prilog 6):

- $\rho_{1321} = 2,40 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_{1212} = 2,12 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_{1391T} = 1,87 \text{ g/cm}^3$

Na slici 7.32. prikazani su uzorci s pojedinim premazom nakon 7 i 14 minuta ispitivanja.



a)



b)

Slika 7.32. Izgled uzoraka nakon: a) 7 minuta ispitivanja, b) 14 minuta ispitivanja



U tablici 7.7. navedeni su rezultati dobiveni ispitivanjem otpornosti uzoraka na erozijsko trošenje s premazom Belzona 1321, Belzona 1212 te Belzona 1391T.

Tablica 7.7. Rezultati ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje

Uzorak	Vrijeme ispitivanja, min	Masa uzorka $m$ , g	Gubitak mase premaza $\Delta m$ , g	Prosječan gubitak mase premaza $\Delta m'$ , g	Prosječan gubitak volumena premaza $\Delta V' = \Delta m' / \rho$ , $cm^3$
<b>B 1321</b>	0	35,7220		0,0032	0,00133
			0,0018		
	7	35,7202			
			0,0046		
	14	35,7156			
			0,0032		
<b>B 1212</b>	0	35,2545		0,0240	0,01132
			0,0059		
	7	35,2486			
			0,0122		
	14	35,2364			
			0,0054		
<b>B 1391T</b>	0	35,4650		0,0030	0,00160
			0,0015		
	7	35,4635			
			0,0024		
	14	35,4611			
			0,0050		
21	35,4561				

Na slici 7.33. prikazani su uzorci nakon završenog ispitivanja otpornosti premaza na erozijsko trošenje.



Slika 7.33. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje premaza

Nakon završenog ispitivanja na uzorcima je vidljiva očita promjena u izgledu površine kod sve tri vrste premaza. Promijenila se površinska hrapavost površine te nije uočljiv sjaj kod premaza kao prije provođenja ispitivanja. Iz rezultata isčitanih iz tablice vidljivo je kako premazi Belzona 1321 i Belzona 1391T imaju veću otpornost na erozijsko trošenje od Belzona 1212 premaza.

#### 7.5.3. Ispitivanje udarne otpornosti premaza

Otpornost premaza na udar ispitana je uređajem Elcometer 1615 koji je prikazan na slici 7.34. prema normi HRN ISO 6272. Uređaj je jednostavan za upotrebu i idealan za procjenu otpornosti premaza na udar (istezanje, pucanje ili ljuštenje), a pogodan je za primjenu i na izravnim i neizravnim ispitnim metodama.

Ispitni uzorak položen je na donje postolje. Uteg od 1 kg podignut je na unaprijed zadanu visinu i može se podesiti pomoću uređaja s podesivom ogrlicom. Tada se oslobađa uteg i uočava nastala deformacija.

Cijev ima jasno ugravirane, graduirane oznake u kg-c i lb-inč kako bi se osigurala točnost i brz, siguran mehanizam za otpuštanje utega koji sigurno drži težinu i omogućuje glatko otpuštanje. Visina cijevi je 1000 mm.

Postupak ispitivanja sastoji se od slijedećih koraka:

- ispitni uzorak položi se na postolje
- uteg se podiže na zadanu visinu
- oslobađa se uteg
- analizira se nastala deformacija.



Slika 7.34. Elcometer 1615

Ukoliko je na nastaloj deformaciji uočljiva pukotina, postupak se ponavlja na istom uzorku, ali različitom mjestu uzorka, tj. neoštećenoj površini. Postupak se ponavlja s manjom visinom utega te ako nije došlo do pucanja ili ljuštenja traži se najveća visina gdje ne dolazi do oštećivanja površine. Međutim ako i dalje dolazi do pucanja premaza, smanjujemo visinu sve do željenog rezultata na uzorku.

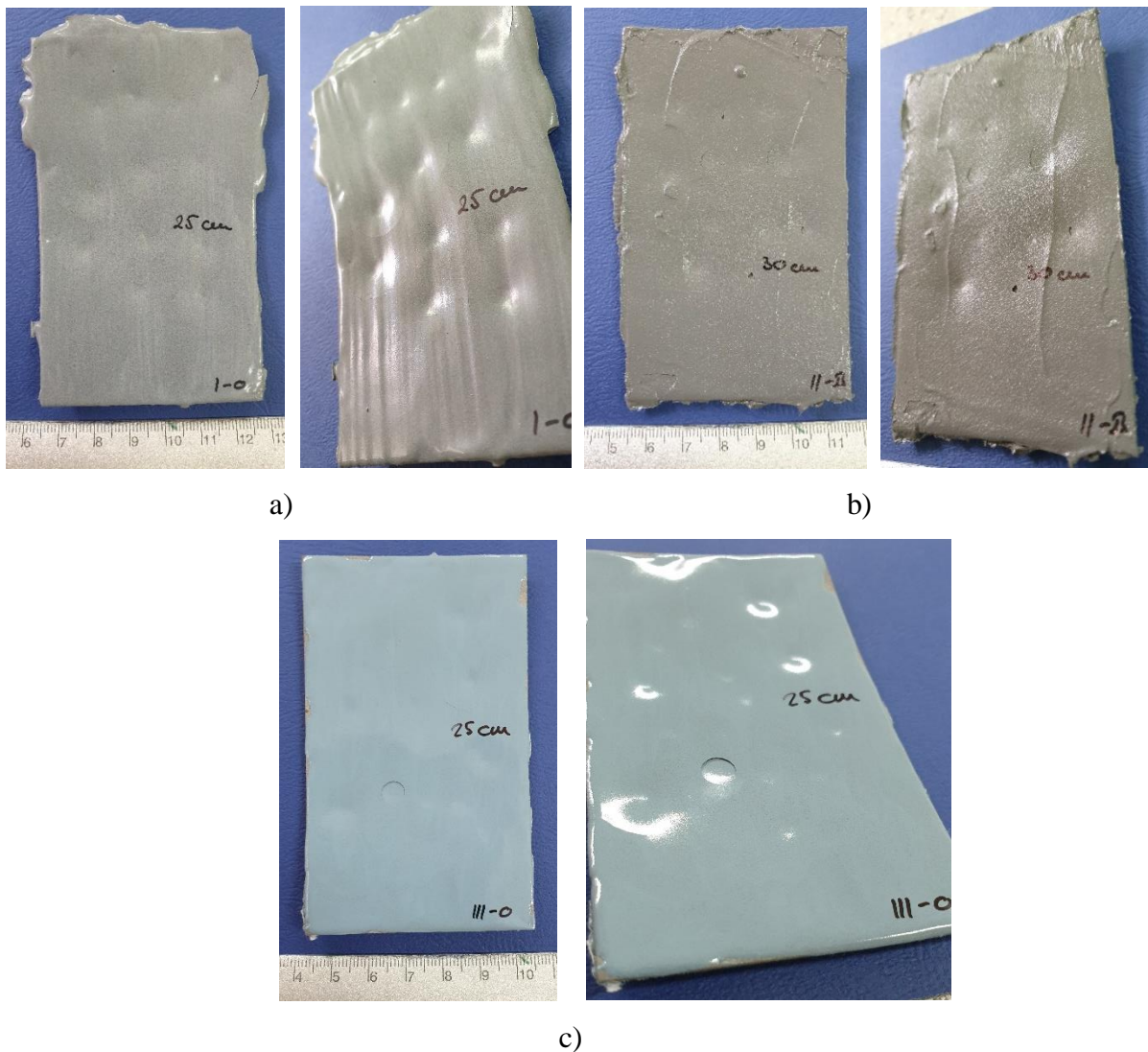
Prije nanošenja premaza na uzorke namijenjene za ovu vrstu ispitivanja, površine uzoraka pripremljene su na dva različita načina, odmašćena i neodmašćena površina. Za svaki premaz namijenjena su po dva uzorka, svaki s različitom pripremom.

U tablici 7.8. navedeni su rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar.

Tablica 7.8. Rezultati ispitivanja udarne otpornosti premaza

Uzorak	Priprema površine	Otpornost premaza na udar, cm
<b>B 1321</b>	S odmašćivanjem	25
	Bez odmašćivanja	20
<b>B 1212</b>	S odmašćivanjem	30
	Bez odmašćivanja	30
<b>B 1391T</b>	S odmašćivanjem	25
	Bez odmašćivanja	25

Slika 7.35. prikazuje površine uzoraka nakon ispitivanja.



Slika 7.35. Površine uzoraka nakon ispitivanja udarne otpornosti premaza: a) B 1321, b) B 1212, c) B 1391T

#### 7.5.4. Pull – off ispitivanje

Elcometer 106 za Pull – off ispitivanje dizajniran je za mjerenje čvrstoće vezivanja nanesenih premaza. Može se ispitati široka paleta premaza, uključujući boju, polimerne prevlake, raspršeni metal, epoksid, drvene furnire, laminare na drvu, metalu ili plastici. Ispitivač koristi Pull – off metodu kako bi se odredila sila potrebna za odvajanje premaza od osnovnog materijala.

Pri ispitivanju adhezije premaza pomoću mjernog uređaja prvo je potrebno nahrapaviti dio površine te ju očistiti kako bi metalni valjčići prilikom lijepljenja bolje prijanjali uz površinu. Na površinu valjčića nanese se mala količina ljepljiva te se prisloni na površinu premaza i zadrži oko 10 s. Da se ljepljivo stvrdne potrebno je 20 – 30 min. Kroz sredinu valjčića, posebnim alatom se

ljepilo koje se još nije stvrdnulo razmaže kako se vrh mjernog uređaja ne bi zalijepio za površinu uzorka. Mjernim uređajem obuhvati se metalni valjčić i primjenjuje se sila zatezanjem matice na vrhu mjernog uređaja. Obično se koristi brzina povlačenja od 1 MPa/s ili 150 psi/s za promjer matice od 20 mm. Kada dođe do odvajanja valjčića od podloge, rezultatna sila prikazana je na ekranu uređaja.

Postupak pripreme za ispitivanje prikazan je na slici 7.36.



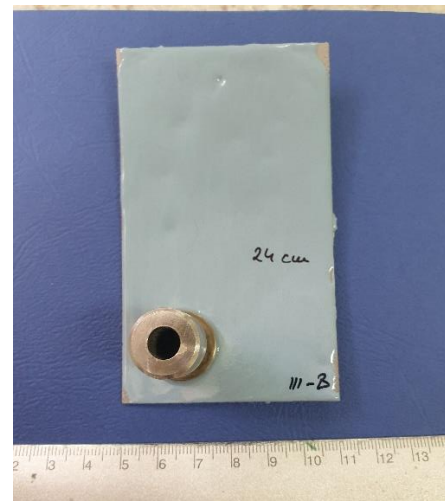
a)



b)






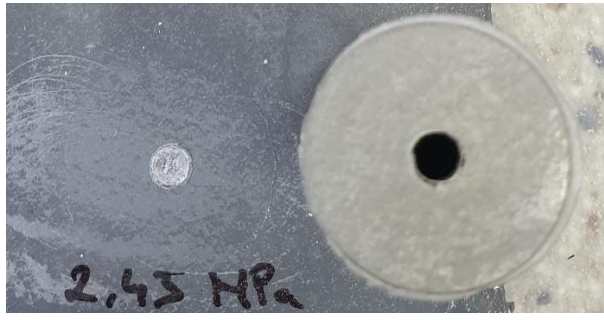
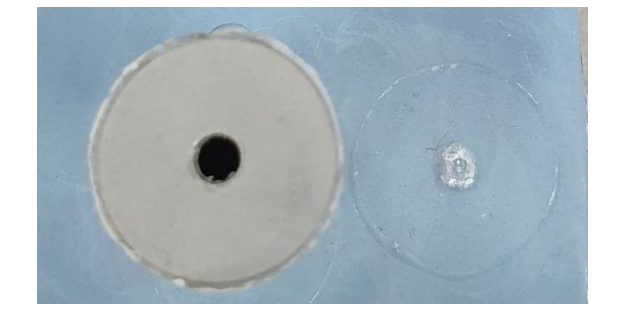
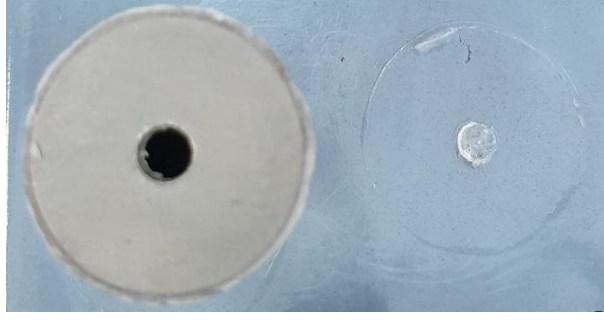
c)



d)

Slika 7.36. Postupak pripreme za Pull – off ispitivanje: a) hrapavljenje površine brusnim papirom, b) korišteno ljepilo te njegovo nanošenje, c) prislanjanje valjčića na površinu premaza, d) stvrdnjavanje ljepila

Na slici 7.37. prikazani su rezultati Pull – off ispitivanja.

	
I – O 2,54 MPa	I – B 2,35 MPa
	
II – O 2,96 MPa	II – B 2,43 MPa
	
III – O 4,59 MPa	III – B 2,59 MPa

Slika 7.37. Rezultati Pull – off ispitivanja

Iz priloženih slika može se vidjeti kako je tijekom ispitivanja došlo samo do odvajanja valjčića u ljepilu, a nije došlo do pucanja ili odvajanja materijala od podloge. Najmanja sila koju treba ostvariti prema normi HRN ISO 4624:2003 je 5 MPa pa se može zaključiti da je u ovom slučaju došlo do odljepljivanja u ljepilu. To ukazuje na dobro prijanjanje površine te na jako glatku i neravnu prevlaku.

### 7.5.5. Ispitivanje tvrdoće prema Buchholzovom modelu 263

Uređaj za ispitivanje tvrdoće sastoji se od metalnog bloka u koji su postavljene dvije šiljaste noge i uvlakač. Uvlakač, izrađen od kaljenog čelika, je kotač s reznim kutem od  $120^\circ$ . Ukupna masa ispitivača je  $1000 \pm 5$  g. Ispitno opterećenje podešava se u rasponu od 4,90 N do 4,95 N (što odgovara 500 do 505 g). Dakle, udovoljava zahtjevima svih standarda.

U ispitivanju tvrdoće prema Buchholzu ispitno tijelo određene geometrije djeluje određeno vrijeme na uzorak pomoću definiranog ispitnog opterećenja. Nakon određenog vremena oporavka, duljina ( $l$ ) rezultirajućeg udubljenja mjeri se mikroskopom. Na temelju ove duljine otiska ( $l$ ) u mm, moguće je izračunati:

$$\bullet \text{ Buchholz-ova tvrdoća udubljenja} = 100 / l \quad (3)$$

$$\bullet \text{ dubina utiskivanja } (\mu\text{m, približno}) = 8 \times l^2 \quad (4)$$

Obje su varijable zaokružene na cijele brojeve.

Mjerni mikroskop ima 20x povećanje i ugrađeno osvjetljenje. Ima mjerno područje od 4 mm s korakom od 0,1 mm.

Slika 7.38. prikazuje mjerni uređaj i ispitivanje tvrdoće po Buchholzu.



Slika 7.38. Ispitivanje tvrdoće prema Buchholzovom modelu 263

Ispitivanje tvrdoće Buchholz otiska primjenjivo je kad su ispunjeni sljedeći granični uvjeti:

- premaz koji se ispituje mora biti ujednačen i gladak s čistom površinom i nanijeti na ravnu podlogu koja će odoljeti ispitnoj sili
- mora postojati odgovarajuća debljina premaza (tj. da premaši dubinu utiskivanja prema (3) za najmanje 10  $\mu\text{m}$ )
- za usporedna ispitivanja uzorci bi trebali imati jednaku debljinu premaza; a kondicioniranje i ispitivanje uzoraka treba provoditi u identičnim uvjetima okoline.

Budući da test otiska uzrokuje samo beznačajnu štetu na premazu, ispitivanje je moguće i na gotovim proizvodima.

Postupak ispitivanja sastoji se od sljedećih koraka:

- uređaj se polako postavi na površinu premaza, bez pritiska na uzorak
- nakon  $30 \pm 1$  s djelovanja, instrument se podiže okomito od uzorka
- uzorak se stavlja pod mikroskop tako da svjetiljka osvjetljava otisak sa strane
- nakon nalaženja udubljenja u uzorku, mjeri se duljina otiska
- na temelju duljine otiska u mm, izračunava se dubina otiska (4) te tvrdoća po Buchholzu (3).

Na svakoj vrsti premaza provedena su po tri mjerenja te je na temelju tih mjerenja izračunata prosječna duljina otiska.

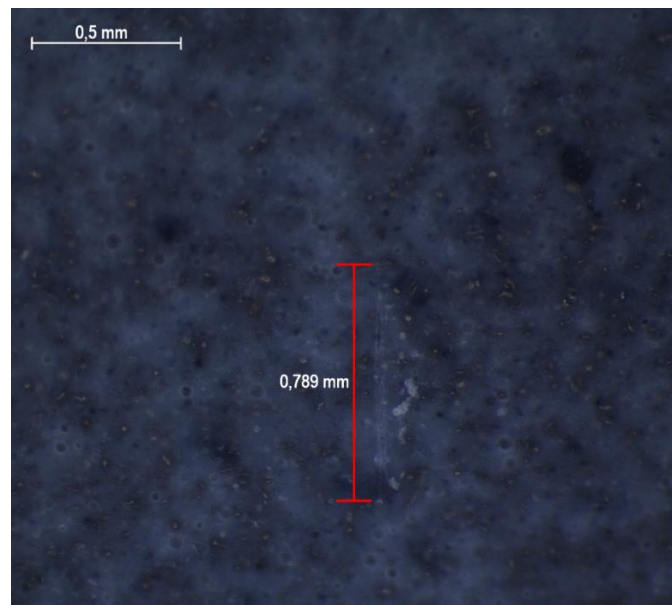
Tablica 7.9. prikazuje rezultate mjerenja dobivene ispitivanjem tvrdoće prema Buchholzu za pojedini premaz.

Tablica 7.9. Rezultati ispitivanja tvrdoće po Buchholzu

Uzorak	Duljina otiska, mm	Prosječna duljina otiska, mm
<b>B 1321</b>	0,886	0,802
	0,730	
	0,789	
<b>B1212</b>	0,253	0,220
	0,212	
	0,196	
<b>B 1391T</b>	0,918	0,922
	0,922	
	0,927	



Slika 7.39. prikazuje otisak nakon ispitivanja na premazu Belzona 1321.



Slika 7.39. Otisak ispitivanja na premazu Belzona 1321

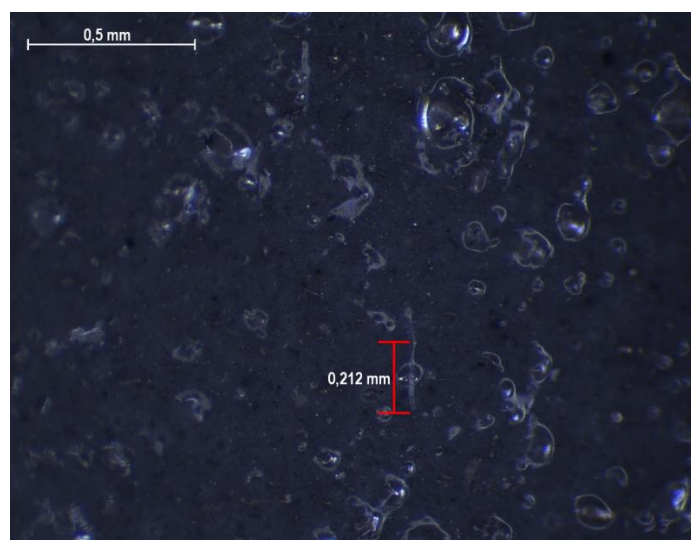
Prema formuli (3):

$$\text{Buchholz – ova tvrdoća udubljenja} = \frac{100}{l} = \frac{100}{0,802} = 124,69 \approx 125$$

Prema formuli (4):

$$\text{dubina utiskivanja } (\mu\text{m, približno}) = 8 \times l^2 = 8 \times 0,802^2 = 5,15 \approx 5 \mu\text{m}$$

Kod uzorka koji sadrži premaz 1212, nakon ispitivanja, pod mikroskopom je izračunata duljina otiska prikazana na slici 7.40.



Slika 7.40. Otisak ispitivanja na premazu Belzona 1212

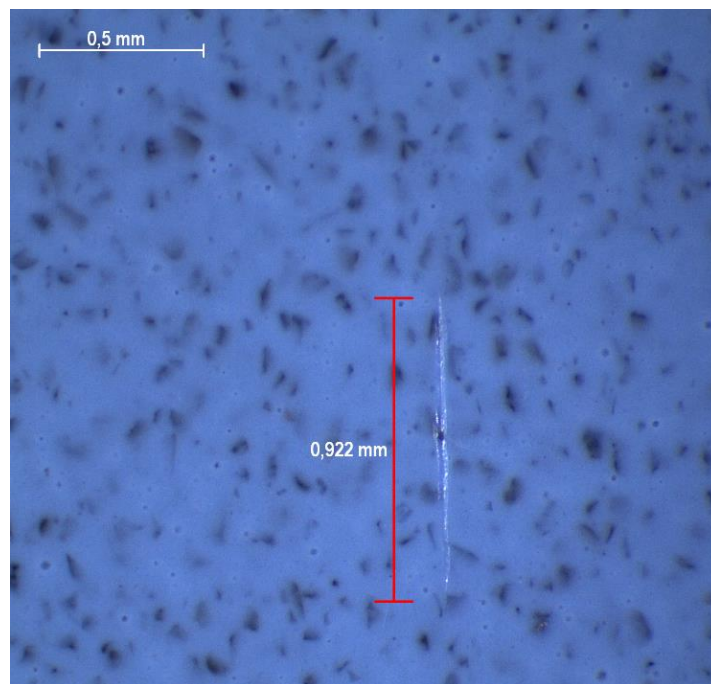
Prema formuli (3):

$$\text{Buchholz – ova tvrdoća udubljenja} = \frac{100}{l} = \frac{100}{0,220} = 454,55 \approx 455$$

Prema formuli (4):

$$\text{dubina utiskivanja } (\mu\text{m, približno}) = 8 \times l^2 = 8 \times 0,220^2 = 0,39 \approx 0,4 \mu\text{m}$$

Kod premaza Belzona 1391T, nakon ispitivanja, pod mikroskopom je izračunata duljina otiska prikazana na slici 7.41.



Slika 7.41. Otisak ispitivanja na premazu Belzona 1391T

Prema formuli (3):

$$\text{Buchholz – ova tvrdoća udubljenja} = \frac{100}{l} = \frac{100}{0,922} = 108,46 \approx 108$$

Prema formuli (4):

$$\text{dubina utiskivanja } (\mu\text{m, približno}) = 8 \times l^2 = 8 \times 0,922^2 = 6,8 \approx 7 \mu\text{m}$$

## 7.6. Ispitivanje svojstava korozijske otpornosti premaza u vlažnoj komori

Ispitivanjem u vlažnoj komori (slika 7.42.) simulira se ponašanje premaza u toploj i vlažnoj atmosferi uz kondenziranje vode.



Slika 7.42. Vlažna komora C&W, Model AB6

Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala prema normi HRN ISO 6270- 2:2007. Temperatura u komori tijekom ispitivanja iznosila je  $40 \pm 3$  °C, a relativna vlažnost zraka oko 100 % s orošavanjem uzoraka. Vrijeme trajanja ispitivanja je 21 dan, tj. 504 sata, pri čemu je provedena kontrola uzoraka svakih 7 dana. Nakon provedena 504 sata u vlažnoj komori, svi su uzorci vizualno pregledani i utvrđeno je da nema vidljivih oštećenja na premazima uzoraka. Iz dobivenih rezultata ispitivanja u vlažnoj komori može se zaključiti da su postojani na toplu i vlažnu atmosferu.

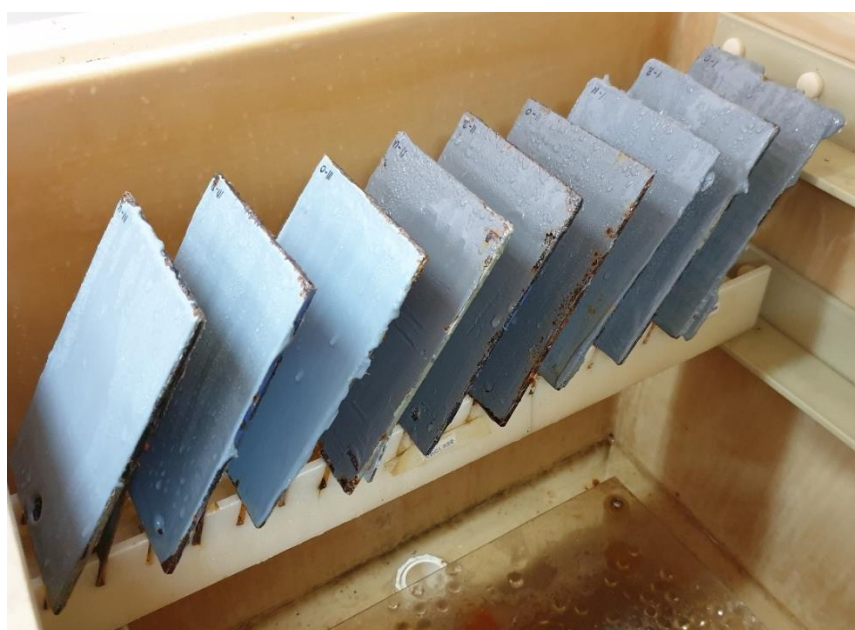
Na slici 7.43. prikazan je izgled ispitivanih uzoraka tijekom provedenih kontrola.

Nakon nekog vremena došlo je do korodiranja nezaštićenih rubova na uzorcima, ali to nije oštetilo površinu prevlake.

Po završetku ispitivanja od 504 sata, uzorci su izvađeni iz vlažne komore i osušeni na zraku. Izgled uzoraka pojedine vrste prevlake prikazan je na slikama 7.44., 7.45., 7.46.



a)

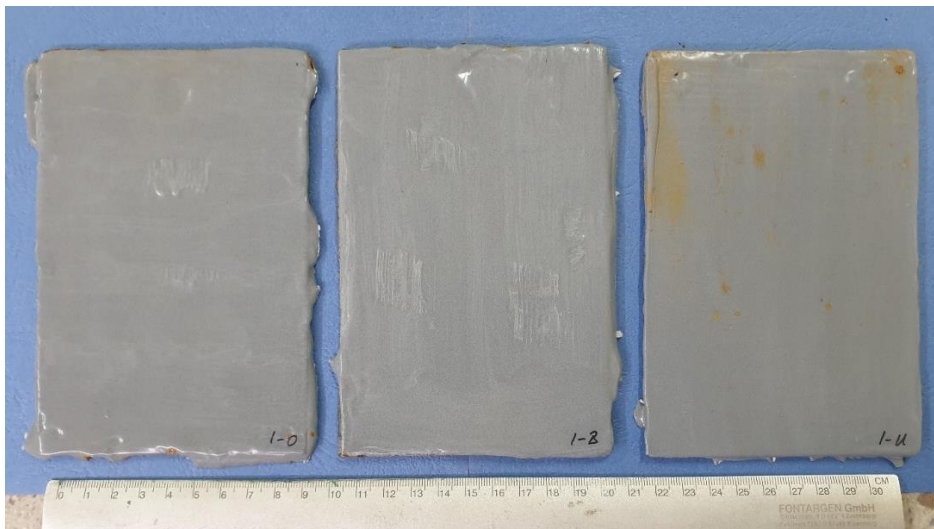


b)

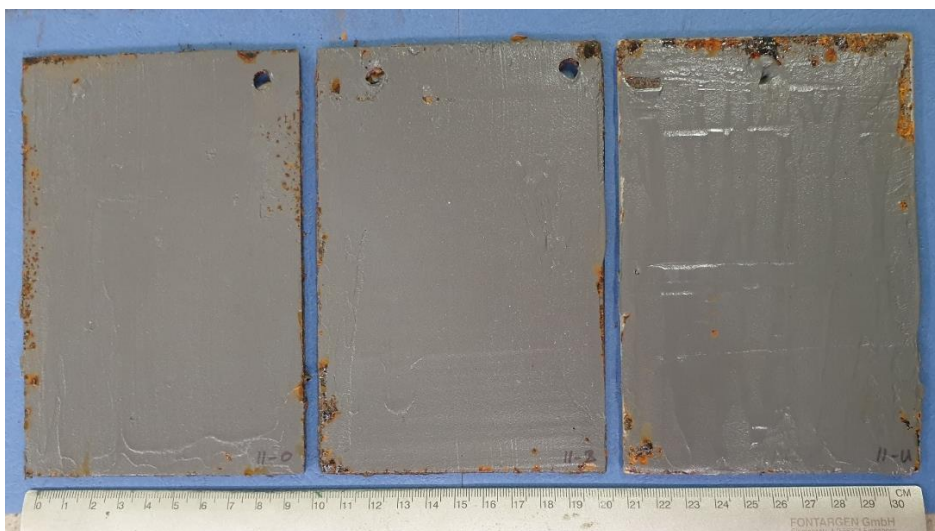


c)

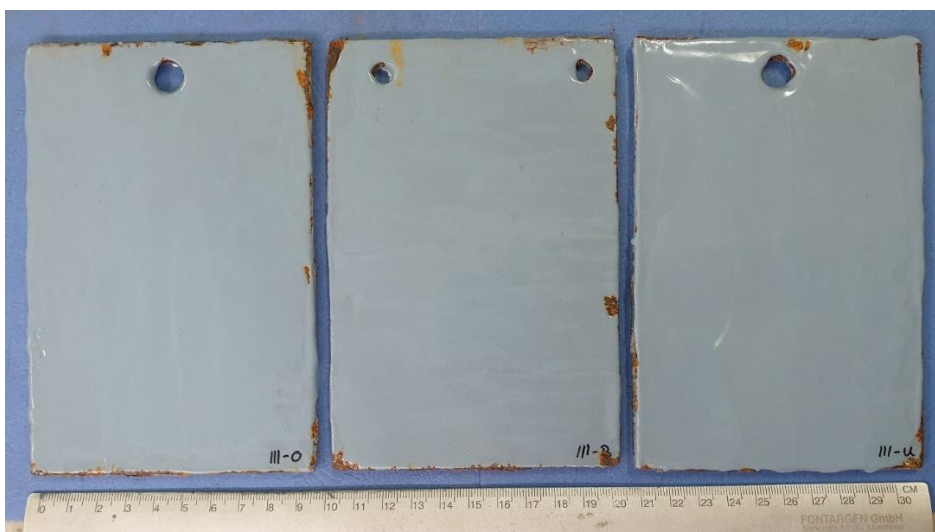
Slika 7.43. Izgled ispitivanih uzoraka tijekom kontrola: a) nakon 168 sati, b) nakon 336 sati, c) nakon 504 sata



Slika 7.44. Prikaz premaza Belzona 1321 nakon 504 sata ispitivanja u vlažnoj komori



Slika 7.45. Prikaz premaza Belzona 1212 nakon 504 sata ispitivanja u vlažnoj komori



Slika 7.46. Prikaz premaza Belzona 1391T nakon 504 sata ispitivanja u vlažnoj komori

Kod svih 9 ispitivanih uzoraka nisu primjećena korozijska oštećenja na dijelu gdje je nanescena prevlaka. Na nezaštićenim dijelovima uzoraka vidljiva je jaka opća korozija.

Nakon vizualnog pregleda provedeno je Pull – off ispitivanje na uzorcima prema normi HRN ISO 4624:2002. Nakon hrapavljenja površine i lijepljenja metalnog valjčića na površinu premaza uzorci su spremni za ispitivanje (slika 7.47., 7.48.).

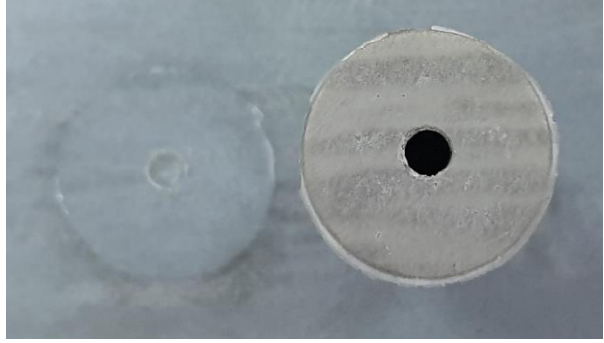

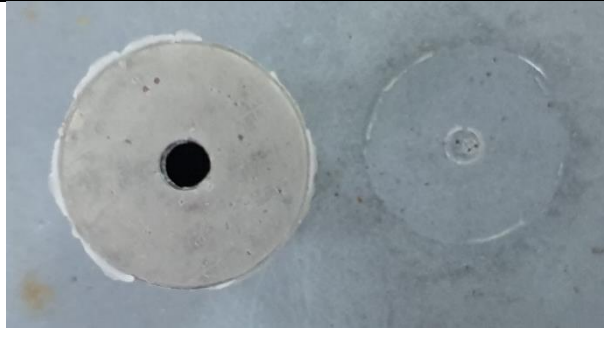





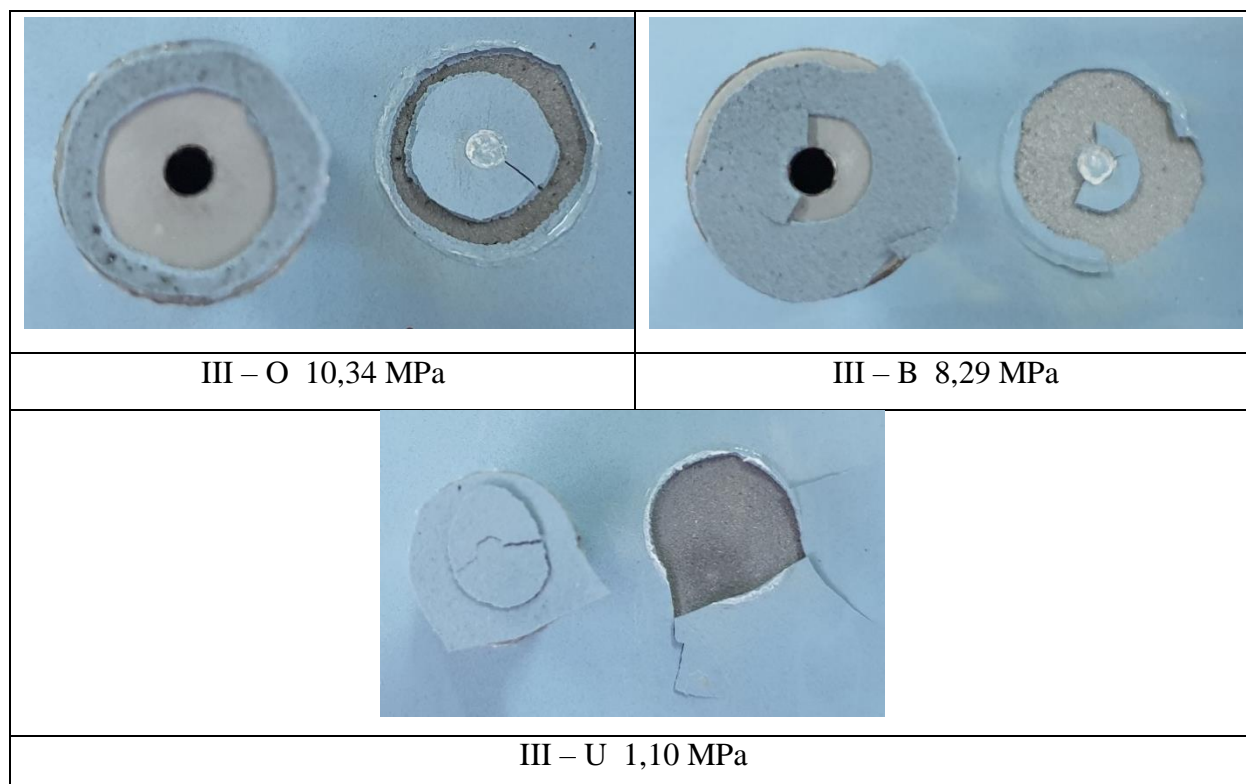
Slika 7.47. Uzorci pripremljeni za Pull – off ispitivanje



Slika 7.48 Ispitivanje prionjivosti premaza Pull – off metodom

Na slici 7.49. prikazani su uzorci na kojima je provedeno Pull – off ispitivanje prionjivosti premaza na osnovni materijal. Ispitivanje prionjivosti premaza provedeno je na uzorcima koji su ispitivani 504 sata u vlažnoj komori te svaka od tri vrste premaza ima tri različite pripreme površine, a to su: odmašćena, neodmašćena i zamašćena površina motornim uljem.

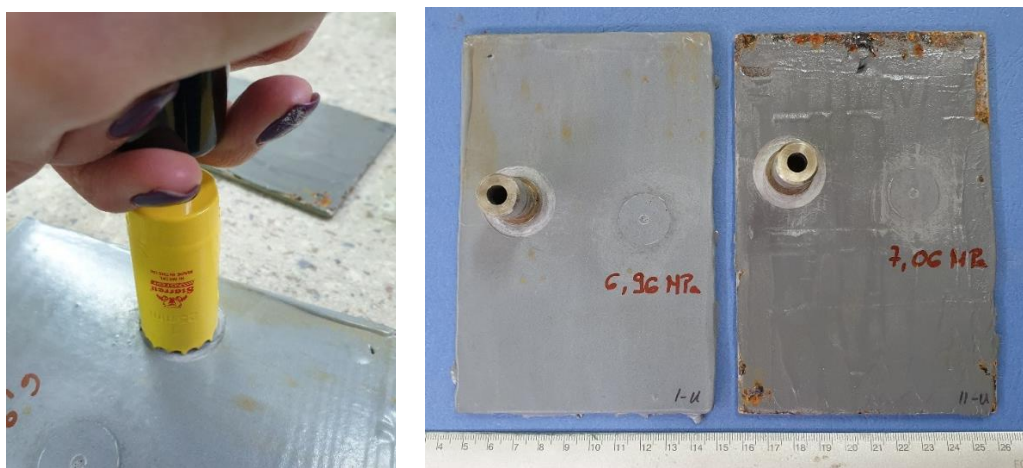
	
I – O 7,00 MPa	I – B 13,79 MPa
	
I – U 6,96 MPa	II – O 8,70 MPa
	
II – B 9,50 MPa	II – U 7,06 MPa



Slika 7.49. Rezultati Pull – off ispitivanja nakon vlažne komore

Kao što se vidi na prethodnoj slici kod uzoraka koji sadrže premaz Belzona 1321 i Belzona 1212 došlo je do odvajanja metalnog valjčića od premaza u ljeplju dok kod uzorka koji sadrži premaz 1391T došlo je do odvajanja premaza od osnovnog materijala čak i pri jako maloj vlačnoj sili kod uzorka čija je površina prije nanošenja premazana motornim uljem.

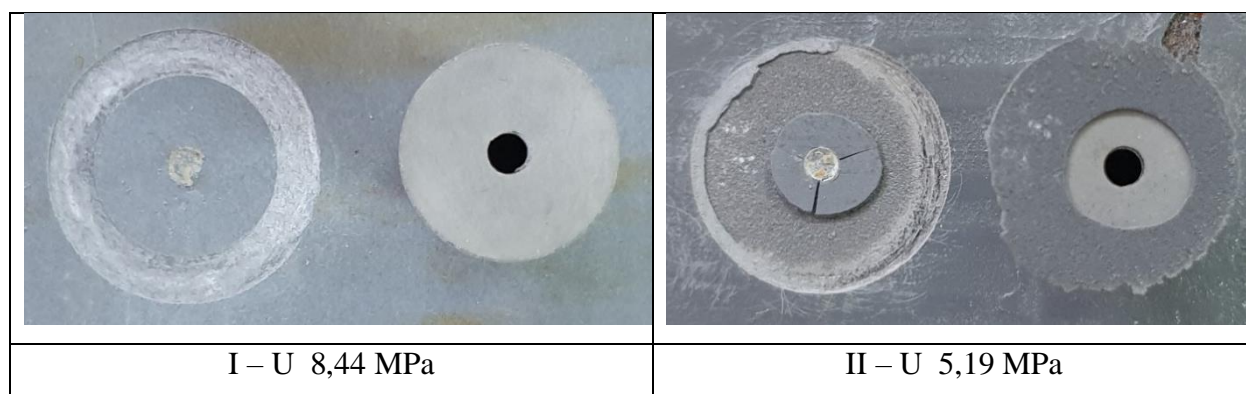
Kako bi se lakše došlo do zaključka, ispitivanje je ponovljeno s uzorcima premaza Belzona 1321 i Belzona 1212 čija je površina prije nanošenja premazana motornim uljem. Ali ovaj puta nakon lijepljenja metalnog valjčića, a prije samog testiranja, oko valjčića se napravi kružni urez debljine premaza (slika 7.50.)



Slika 7.50. Kružno urezivanje (lijevo) i izgled uzoraka nakon urezivanja (desno)



Na slici 7.51. prikazani su rezultati ponovljenog Pull – off testiranja.



Slika 7.51. Ponovljeno Pull – off testiranje s kružnim urezivanjem

Iz slike je vidljivo da je kod premaza Belzona 1321, bez obzira na kružno urezivanje premaza došlo samo do odvajanja u ljepilu, dok je kod premaza Belzona 1391T ovaj puta došlo do odvajanja premaza od podloge.

## 7.7. Analiza eksperimentalnog dijela rada

**Ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje** – Ispitivanjem otpornosti na abrazijsko trošenje, dobiveni su rezultati koji ukazuju kako se sve tri vrste premaza relativno brzo troše. Međutim, kako su rezultati i pokazali, premaz Belzona 1321 ima najveću otpornost na abrazijsko trošenje, nakon kojeg slijedi Belzona 1212 te naposljetku Belzona 1391T. Iako su sva tri premaza visoke tvrdoće, epoksidno vezivo gubi fizikalna svojstva uslijed zagrijavanja trenjem te dolazi do trošenja premaza.

**Ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje** – Rezultati ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje pokazali su kako, uz najveći stupanj izloženosti erozijskom trošenju, pod kutem udara čestica od 90°, premaz Belzona 1212 ima najmanju otpornost na erozijsko trošenje. Kod premaza Belzona 1321 i Belzona 1391T došlo je do puno manjeg gubitka volumena tijekom ispitivanja. Veliki gubitak volumena kod premaza Belzona 1212 možemo pripisati ručnom nanošenju i brzom stvrdnjavanju premaza koje je dovelo do površinskih neravnina koje je abraziv već pri prvom ispitivanju od 7 min uklonio s površine.

**Ispitivanje udarne otpornosti premaza** – Nakon provedenog ispitivanja otpornosti premaza na udar, premaz Belzona 1212 pokazao se najotpornijim na udar tj. dao je najveću visinu pri kojoj ne dolazi do oštećenja premaza.

**Pull – off ispitivanje** – Rezultati ispitivanja prionjivosti vlačnom metodom pokazuju smanjene sposobnosti prionjivosti na osnovni materijal kod sve tri vrste premaza. Na slici 7.37. može se vidjeti kako je tijekom ispitivanja došlo samo do odvajanja metalnog valjčića u ljepilu, a nije došlo do pucanja ili odvajanja materijala od podloge. Prema normi HRN ISO 4624:2003, najmanja sila koju treba ostvariti prilikom ispitivanja je 5 MPa pa se da zaključiti da je uzrok tomu glatkoća premaza te površinske neravnine.

**Ispitivanje tvrdoće prema Buchholzu** – Nakon provedenog ispitivanja tvrdoće prema Buchholzu, dobiveni su rezultati koji ukazuju kako daleko najveću tvrdoću premaza ima Belzona 1212, što je i očekivano s obzirom na gušći očvršćivač koji brzo stvrdnjava te daje tvrdi premaz. Belzona 1321 i Belzona 1391T sadrže tekuće očvršćivače koji samim time daju mekši i kompaktniji premaz.

**Ispitivanje korozijske postojanosti premaza u vlažnoj komori** – Nakon što su ispitivani uzorci bili izloženi 504 sata u vlažnoj komori, na njima nije došlo do pojave korozije. Sve tri vrste premaza osiguravaju izvrsnu zaštitu od korozije u vlažnoj atmosferi. Nadalje, kada su premazi detaljnije ispitivani testom prionjivosti vlačnom metodom (Pull – off test), s obzirom na različite pripreme površina prije nanošenja premaza, vidljivo je kako je premaz Belzona 1321 namijenjen za više vrsta podloga, od pripremljenih do nepripremljenih, jer je ispitivanjem došlo samo do odvajanja metalnog valjčića u ljepilu. Belzona 1212 premaz koji je namijenjen za nanošenje na masne, vlažne i loše pripremljene površine, također se odvojio samo u ljepilu. Međutim, kod Belzona 1391T premaza vidljivi su rezultati lošeg prijanjanja premaza na masnu površinu kod kojeg je došlo do odvajanja premaza od podloge čak i pri jako maloj vlačnoj sili kod uzorka čija je površina prije nanošenja premazana motornim uljem.

## 8. ZAKLJUČAK

Osnovna metoda zaštite materijala je zaštita premazima. Premazi imaju vrlo važnu ulogu u zaštiti konstrukcija od korozije, abrazije i erozije. Konstantno usavršavanje premaza dovodi do poboljšanja njihovih svojstava, kao što su tvrdoća, prionjivost, otpornost na trošenje, sjaj, elastičnost te otpornost na kemikalije. U današnje vrijeme tržište nudi vrlo velike mogućnosti odabira različitih vrsta i sustava premaza za različite namjene ovisno o potrebi korisnika. Međutim, odabir vrste premaza nije ključ uspješnosti zaštite od korozije. Za učinkovitu zaštitu, osim odabira odgovarajućeg premaza, potrebno je uzeti u obzir vrstu materijala na koji se premaz nanosi, njegovu primjenu u raznim medijima te je potrebno redovito voditi računa o održavanju i zaštititi kako bi održavanje bilo što jeftinije. Također, izvedba pripreme površine jako je važan faktor u postizanju očekivanih rezultata zaštite. Nizom ispitivanja u eksperimentalnom dijelu rada uspoređeno je ponašanje tri vrste dvokomponentnih epoksidnih prevlaka. Ispitivana su fizikalna svojstva i svojstva korozijske otpornosti *Belzona* premaza serije 1000; *Belzona 1321* (Ceramic S-Metal), *Belzona 1212* te *Belzona 1391T*. Ispitivanjem otpornosti premaza na abrazijsko i erozijsko trošenje zaključeno je kako se svi premazi relativno brzo troše. Najveću otpornost na abrazijsko trošenje pokazao je premaz *Belzona 1321*, kojeg slijedi *Belzona 1212* te naposljetku *Belzona 1391T*. Iako su sva tri premaza visoke tvrdoće, epoksidno vezivo gubi fizikalna svojstva uslijed zagrijavanja trenjem te dolazi do trošenja premaza. Rezultati ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje pokazali su kako premaz *Belzona 1212* ima najmanju otpornost na erozijsko trošenje. Veliki gubitak volumena kod premaza *Belzona 1212* možemo pripisati ručnom nanošenju i brzom stvrdnjavanju premaza koje je dovelo do površinskih neravnina koje je abraziv već pri prvom ispitivanju uklonio s površine. Kod premaza *Belzona 1321* i *Belzona 1391T* došlo je do puno manjeg gubitka volumena tijekom ispitivanja. Može se zaključiti da su za veću otpornost na erozijsko trošenje ta dva premaza zaslužne keramičke čestice koje premaz sadrži. Ispitivanjem otpornosti premaza na udar zaključeno je da je premaz *Belzona 1212* najotporniji na udar, tj. dao je najveću visinu pri kojoj ne dolazi do oštećivanja premaza. Nakon ispitivanja prionjivosti vlačnom metodom rezultati su pokazali smanjenu sposobnost prionjivosti na osnovni materijal kod sve tri vrste premaza. Tijekom ispitivanja došlo je samo do odvajanja metalnog valjčića u ljepilu. To ukazuje na dobro prijanjanje površine te na jako gladak i neravan premaz. Mjerenje tvrdoće i analiza rezultata pokazali su da *Belzona 1212* ima daleko najveću tvrdoću premaza. Može se zaključiti da je razlog tome gušći očvršćivač koji brzo stvrdnjava te daje tvrdi premaz. *Belzona 1321* i *Belzona 1391T* sadrže tekuće očvršćivače koji samim time daju mekši i kompaktniji premaz. Nakon pjeskarenja pločica kvarcnim pijeskom, namijenjenih za ispitivanje u vlažnoj komori, površine su pripremljene na tri različita načina (odmašćena, neodmašćena, premazana

uljem) kako bi se ispitala prionjivost pojedinog premaza. Ispitivanje svojstava korozijske otpornosti tri vrste dvokomponentnih epoksidnih premaza, nakon 504 sata izloženosti u vlažnoj komori, ukazuje kako su sve tri vrste premaza postojane, te bez vidljivih tragova pojave korozije. Sve tri vrste premaza osiguravaju izvrsnu zaštitu od korozije u vlažnoj atmosferi. Pri dodatnom ispitivanju fizikalnih svojstava vlačnom metodom (Pull – off test), može se zaključiti kako je premaz *Belzona 1321* namijenjen za više vrsta podloga, od pripremljenih do nepripremljenih, jer je ispitivanjem došlo samo do odvajanja metalnog valjčića u ljepilu. *Belzona 1212* premaz koji je namijenjen za nanošenje na masne, vlažne i loše pripremljene površine, također se odvojio samo u ljepilu. Međutim, kod *Belzona 1391T* premaza došlo je do odvajanja premaza od podloge čak i pri jako maloj vlačnoj sili kod uzorka čija je površina prije nanošenja premazana motornim uljem, što ukazuje na to kako premaz *Belzona 1391T* nije namijenjen za nanošenje na masne, vlažne i loše pripremljene podloge.

Iz provedenih ispitivanja vidljiva je važnost pripreme površine te odabir odgovarajućeg premaza s ciljem osiguravanja optimalnih zaštitnih svojstava.

## LITERATURA

- [1] <https://pdf.sciencedirectassets.com/278653/1-s2.0-S1877705817X00027/1-s2.0-S1877705817304253/main.pdf> (pristupila 02.09.2020.)
- [2] Al-Sherrawi, M.H.; Mubder Edaan, E.; Sotnik, L: "Corrosion of Metal Construction Structures", International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 2018.
- [3] <https://www.korozija.hr/> (pristupila 02.09.2020.)
- [4] <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/eight-forms-of-corrosion> (pristupila 02.09.2020.)
- [5] [https://www.cdcorrosion.com/mode\\_corrosion/corrosion\\_uniform.htm](https://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_uniform.htm) (pristupila 02.09.2020.)
- [6] <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/organic-coating> (pristupila 02.09.2020.)
- [7] [https://www.fsb.unizg.hr/korozija/PROIZVODNI\\_POSTUPCI.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/korozija/PROIZVODNI_POSTUPCI.pdf) (pristupila 02.09.2020.)
- [8] Esih, I.: "Osnove površinske zaštite", FSB, Zagreb, 2003.
- [9] [https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi\\_zatite\\_od\\_korozije\\_-\\_skripta\\_2015.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/749414.Mehanizmi_zatite_od_korozije_-_skripta_2015.pdf) (pristupila 05.09.2020.)
- [10] Schweitzer, P.A.: "Corrosion of Linings and Coatings, Cathodic and Inhibitor Protection and Corrosion Monitoring", CRC Press, 2007.
- [11] Wicks, Z.W.; Jones, F.N.; Pappas, S.P.; Wicks, D.A.: "Organic Coatings, Science and Technology", Third edition, Wiley-Interscience, 2007.
- [12] Cramer, S.D., Covino, B.S.Jr.: "ASM Handbook Vol.13A: Corrosion-Fundamentals, testing and protection", ASM International, Ohio, SAD, 2003.
- [13] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vezivo> (pristupila 07.09.2020.)
- [14] <http://www.jhpaintingcorp.com/services/commercial/epoxy-coatings.html> (pristupila 07.09.2020.)
- [15] <https://www.corrosionpedia.com> (pristupila 07.09.2020.)
- [16] Knudsen, O.; Forsgren, A.: "Corrosion Control Through Organic Coatings", Second Edition, CRC Press, 2017.
- [17] [https://sh.wikipedia.org/wiki/Bisfenol\\_A](https://sh.wikipedia.org/wiki/Bisfenol_A) (pristupila 09.09.2020.)
- [18] <http://hr.huisinshipcoating.com/industrial-floor-coatings/weather-resistant-outdoor-uv-protective.html> (pristupila 09.09.2020.)
- [19] <http://www.epoksi.eu/hr/usluge/epoksi-podovi/> (pristupila 10.09.2020.)
- [20] <https://www.belzona.com/> (pristupila 10.09.2020.)

- [21] <https://www.cactusindustrial.com/products/sureseal-surface-and-wet-tolerant-protective-coating/> (pristupila 10.09.2020.)
- [22] <https://inter-pipe.ae/products/gre-glass-fiber-reinforced-epoxy/> (pristupila 14.09.2020.)
- [23] <https://www.plantengineering.com/articles/wear-resistant-ceramic-coatings/> (pristupila 14.09.2020.)
- [24] <https://www.pumpsandsystems.com/energy-savings-through-pump-refurbishment-and-coatings> (pristupila 14.09.2020.)
- [25] <https://www.rustoleum.com/pages/industrialsolutions/resources/surface-preparation/surface-preparation-guide/> (pristupila 02.10.2020.)
- [26] [https://www.youtube.com/watch?v=\\_mrj5\\_kmkg](https://www.youtube.com/watch?v=_mrj5_kmkg) (pristupila 03.10.2020.)
- [27] <https://onlinecoatings.org/surface-preparation-methods-in-coating-industries/>
- [28] <https://www.elcometer.com/en/coating-inspection/surface-cleanliness-surface-profile/surface-profile/elcometer-224-digital-surface-profile-gauge.html>
- [29] Gee, M. G.; Gant, A.; Hutchings, I. M.: "Rotating Wheel Abrasive Wear Testing", University of Cambridge, UK, 2002.
- [30] Ivušić, V.: "Tribologija", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
- [31] <https://standards.globalspec.com/std/10194455/ASTM%20G65> (pristupila 14.10.2020.)

## PRILOZI

## PRILOG 1

# Belzona 1321

FN10026

(CERAMIC S-METAL)



## INSTRUCTIONS FOR USE

### 1. TO ENSURE AN EFFECTIVE MOLECULAR WELD

#### METALLIC SURFACES - APPLY ONLY TO BLAST CLEANED SURFACES

- Brush away loose contamination and degrease with a rag soaked in **Belzona® 9111** (Cleaner/Degreaser) or any other effective cleaner which does not leave a residue e.g. methyl ethyl ketone (MEK).
- Select an abrasive to give the necessary standard of cleanliness and a minimum depth of profile of 3 mils (75 microns).  
  
Use only an angular abrasive.
- Blast clean the metal surface to achieve the following standard of cleanliness:  
  
ISO 8501-1 Sa 2½ very thorough blast cleaning  
American Standard near white finish SSPC SP 10  
Swedish Standard Sa 2½ SIS 05 5900
- After blasting, metal surfaces should be coated before any oxidation of the surface takes place.

#### SALT CONTAMINATED SURFACES

Metal surfaces that have been immersed for any periods in salt solutions e.g. sea water, should be blasted to the required standard, left 24 hours to allow any ingrained salts to sweat to the surface and then washed prior to a further brush blast to remove these. This process may need to be repeated to ensure complete removal of salts. The soluble salt contamination of the prepared substrate, immediately prior to application, should be less than 30mgs/m<sup>2</sup>.

#### PIT FILLING

All welds should be prepared to NACE SP0178 Grade C or better. Deep pitting and rough welds should be smoothed out with **Belzona® 1111**, **Belzona® 1311** or **Belzona® 1151** mixed, applied and overcoated in accordance with the relevant IFU.

### 2. COMBINING THE REACTIVE COMPONENTS

Transfer the entire contents of the Solidifier can into the Base module. Mix thoroughly together to achieve a uniform material free of any streakiness.

#### 1. MIXING AT LOW TEMPERATURES

To ease mixing when the material temperature is below 41°F (5°C), warm the Base and Solidifier modules until the contents attain a temperature of 68-77°F (20-25°C).

### 2. WORKING LIFE

From the commencement of mixing, **Belzona® 1321** must be used within the times shown below.

Temperature	41°F (5°C)	59°F (15°C)	77°F (25°C)	86°F (30°C)
Use all material within	2 hours	1 hour	30 min.	20 min.

### 3. MIXING SMALL QUANTITIES

For mixing small quantities of **Belzona® 1321** use:  
4 parts Base to 1 part Solidifier by volume  
11 parts Base to 1 part Solidifier by weight

### 4. VOLUME CAPACITY OF MIXED BELZONA® 1321

25.7 cu.in. (422 cm<sup>3</sup>) per kg.

### 3. APPLYING BELZONA® 1321

#### FOR BEST RESULTS

##### Do not apply when:

- The temperature is below 41°F (5°C) or the relative humidity is above 90%.
- Rain, snow, fog or mist is present.
- There is moisture on the metal surface or is likely to be deposited by subsequent condensation.
- The working environment is likely to be contaminated by oil/grease from adjacent equipment or smoke from kerosene heaters or tobacco smoking.

#### COVERAGE RATES

Recommended number of coats	2
Target thickness 1 <sup>st</sup> coat	15 mils (375 microns)
Target thickness 2 <sup>nd</sup> coat	15 mils (375 microns)
Minimum total DFT	24 mils (600 microns)
Maximum total DFT	Only limited by sag resistance
Theoretical coverage rate 1 <sup>st</sup> coat	12.3 sq.ft. (1.14 m <sup>2</sup> )/kg
Theoretical coverage rate 2 <sup>nd</sup> coat	12.3 sq.ft. (1.14 m <sup>2</sup> )/kg
Theoretical coverage rate to achieve minimum recommended system thickness	7.6 sq.ft. (0.71 m <sup>2</sup> )/kg

#### PRACTICAL COVERAGE RATES

Appropriate loss factors must be applied to the above coverage rates. In practice, many factors influence the actual coverage rate achieved. On rough surfaces such as pitted steel the practical coverage rate will be reduced. Application at low temperatures will also reduce practical coverage rates further.

#### a) FIRST COAT

Apply the **Belzona® 1321** directly on to the prepared surface with a stiff bristled brush or with the plastic applicator provided at the recommended coverage rate.

[www.belzona.com](http://www.belzona.com)

Publication No. 16-08-19

**b) SECOND COAT**

As soon as possible after application of the first coat, apply a further coat of **Belzona® 1321** as in (a) above. This time will be 1-2 hours at 68°F (20°C). The first coat must not be left longer than 6 hours before overcoating, irrespective of temperature. Should this occur, then the surface should be brush blasted or abraded before commencing application.

**INSPECTION NOTE**

**Belzona® 1321** contains ferro-magnetic fillers, therefore, direct measurement of DFT with electromagnetic gauges cannot be carried out. As product is 100% solids, WFT gauge readings taken during application are same as DFT.

- Immediately after application of each unit, visually inspect for pinholes and misses. Where detected, these should be immediately brushed out.
- Once the application is complete and the coating is dimensionally stable (refer to "Movement or use involving no loading or immersion" column in section 4), carry out a thorough visual inspection to confirm freedom from pinholes and misses, and to identify any possible mechanical damage.
- Where wet sponge testing is being used as an aid to confirm continuity of the coating, care should be taken to ensure that the surface is thoroughly wetted out. The addition of a wetting agent such as detergent to the water used on the sponge will also assist. **Under no circumstances should high voltage spark testing be used.**

**COLOR**

**Belzona® 1321** is available in blue and gray to facilitate application and to prevent misses. These colors are for identification only and there will be some variation between batches. In service the color of the applied product may change.

**CLEANING**

Mixing tools should be cleaned immediately after use with **Belzona® 9111** or any other effective solvent e.g. Methyl ethyl ketone (MEK). Application tools should be cleaned using a suitable solvent such as **Belzona® 9121**, MEK, acetone or cellulose thinners.

**4. COMPLETION OF THE MOLECULAR REACTION**

Allow **Belzona® 1321** to solidify as below subjecting it to the conditions indicated.

Temperature	Movement or use involving no loading	Machining and/or light loading	Full mechanical/thermal loading or water immersion	Chemical contact
41°F/5°C	12 hours	18 hours	7 days	10 days
50°F/10°C	8 hours	12 hours	3 days	5 days
59°F/15°C	5½ hours	9 hours	2 days	3 days
68°F/20°C	4 hours	6 hours	1½ days	2 days
77°F/25°C	3½ hours	4½ hours	24 hours	1½ days
86°F/30°C	2 hours	3 hours	18 hours	1 day

**5. MACHINING**

**Belzona® 1321** is extremely difficult to machine down by turning, using conventional or carbide tipped tools. However, it can be machined using diamond tipped tool.

Alternatively it can be machined by grinding, but this should be carried out as soon as possible after the solidified times shown.

**6. FINAL SOLIDIFICATION OF BELZONA® 1321**

When time is important and equipment usage is pressing, then by installing forced air heaters and taking steps to contain this heat around the equipment being reclaimed, final solidification time can be as little as 24 hours. Due allowance must be made for "warming up".

A final physical check can be made as precaution by taking a metal object and tapping the surface of the **Belzona® 1321**. Any partially solidified or soft spots will give a dull tone in relation to the metallic tone offered by solidified **Belzona® 1321**.

If there is any doubt regarding final solidification then **BE SAFE - MAKE MORE TIME.**

**HEALTH & SAFETY INFORMATION**

Please read and make sure you understand the relevant Safety Data Sheets.

The technical data contained herein is based on the results of long term tests carried out in our laboratories and to the best of our knowledge is true and accurate on the date of publication. It is however subject to change without prior notice and the user should contact Belzona to verify the technical data is correct before specifying or ordering. No guarantee of accuracy is given or implied. We assume no responsibility for rates of coverage, performance or injury resulting from use. Liability, if any, is limited to the replacement of products. No other warranty or guarantee of any kind is made by Belzona, express or implied, whether statutory, by operation of law or otherwise, including merchantability or fitness for a particular purpose.

Nothing in the foregoing statement shall exclude or limit any liability of Belzona to the extent such liability cannot by law be excluded or limited.

Copyright © 2019 Belzona International Limited. Belzona® is a registered trademark.

*Belzona products are manufactured under an ISO 9001 Registered Quality Management System*





## PRILOG 2

# Belzona 1212

FN 10174



## INSTRUCTIONS FOR USE

### 1. TO ENSURE AN EFFECTIVE MOLECULAR WELD

Belzona® 1212 is tolerant of surface contamination and can be applied directly to wet and oily surfaces, however it is recommended that the best possible surface preparation is carried out. As a minimum, the substrate must always be firm and free from loose corroded material, mill scale, dust, and any other loose debris."

**Minimum Recommended Preparation:**

Power tool clean to achieve an SSPC-SP11 bare metal power tool cleaned surface.

### 2. COMBINING THE REACTIVE COMPONENTS

Transfer the required amount of material onto a **Belzona® Working Surface** or similar. Mix thoroughly together with a plastic spatula to achieve a uniform material free of any streakiness.

**1. MIXING SMALL QUANTITIES**

For mixing small quantities of **Belzona® 1212** use:

1 part Base to 1 part Solidifier by volume  
5 parts Base to 6 parts Solidifier by weight

**2. MIXING AT LOW TEMPERATURES**

To ease mixing when the material temperature is below 50°F/10°C, warm the containers to between 68°F/20°C and 104°F/40°C.

**3. WORKING LIFE**

From the commencement of mixing, **Belzona® 1212** must be used within the times shown below:

Temperature	Working Life
41°F/5°C	20 minutes
50°F/10°C	16 minutes
68°F/20°C	9 minutes
86°F/30°C	6 minutes
104°F/40°C	4 minutes

**4. VOLUME CAPACITY OF MIXED BELZONA® 1212**

12.9 in<sup>3</sup> / 212 cm<sup>3</sup> per 450g unit

### 3. APPLYING BELZONA® 1212

- Apply the mixed **Belzona® 1212** directly on to the prepared surface with a suitable application tool.
- Press down firmly to fill all cracks, remove entrapped air, and ensure maximum contact with the surface.
- Over cracks, gaps and holes, stipple in **Belzona® 9341** (Reinforcement Tape).
- Contour the **Belzona® 1212** to the correct profile with an applicator or allow the **Belzona® 1212** to cure and then machine down if required.

**CLEANING**

Mixing and application tools should be cleaned immediately after use with **Belzona® 9111**, **Belzona® 9121**, or any other effective solvent e.g. Methyl ethyl ketone (MEK) or acetone.

### 4. COMPLETION OF THE MOLECULAR REACTION

Allow **Belzona® 1212** to solidify as below before subjecting it to the conditions indicated.

Temperature	Machinable	Light Loading	Full Loading
41°F/5°C	2½ hours	5 hours	16 hours
50°F/10°C	2 hours	4 hours	12 hours
68°F/20°C	40 minutes	90 minutes	8 hours
86°F/30°C	30 minutes	60 minutes	5 hours
104°F/40°C	20 minutes	30 minutes	2½ hours

These times are for a thickness of approx. 0.25 in / 6 mm; they will be reduced for thicker sections and extended for thinner sections.

**POST CURE**

The mechanical properties, heat resistance and chemical resistance of **Belzona® 1212** may be improved by post curing.

Once the **Belzona® 1212**, has reached the 'Machinable' level of cure, it can be post-cured at a temperature between 50°C/122°F and 100°C/212°F for 1-2 hours using forced air heaters, heat lamps, etc.

**POTABLE WATER**

To comply with UK WRAS, the product should be cured as follows before contacting potable water.

Temperature	Cure time	Temperature	Cure time
5°C	3¼ days	20°C	24 hours
10°C	2½ days	30°C	16 hours

### 5. APPLICATION OF A FURTHER LAYER OF BELZONA® 1212

Where this is required it should be applied as soon as possible after the first layer. Typically, at 20°C/68°F a second layer can be applied up to 8 hours later without additional preparation.

If the above overcoating time is exceeded the surface of **Belzona® 1212** must be roughened by abrading or flash blasting before applying further **Belzona® 1212**.

---

#### HEALTH & SAFETY INFORMATION

Please read and make sure you understand the relevant Safety Data Sheets.

---

The technical data contained herein is based on the results of long term tests carried out in our laboratories and to the best of our knowledge is true and accurate on the date of publication. It is however subject to change without prior notice and the user should contact Belzona to verify the technical data is correct before specifying or ordering. No guarantee of accuracy is given or implied. We assume no responsibility for rates of coverage, performance or injury resulting from use. Liability, if any, is limited to the replacement of products. No other warranty or guarantee of any kind is made by Belzona, express or implied, whether statutory, by operation of law or otherwise, including merchantability or fitness for a particular purpose.

Nothing in the foregoing statement shall exclude or limit any liability of Belzona to the extent such liability cannot by law be excluded or limited.

Copyright © 2018 Belzona International Limited. Belzona® is a registered trademark.

*Belzona products are  
manufactured under an  
ISO 9001 Registered  
Quality Management System*



Publication No. 02-03-18

Belzona 1212 - Instructions for Use (2)

[www.belzona.com](http://www.belzona.com)

## PRILOG 3

# Belzona 1391T

FN10034



## INSTRUCTIONS FOR USE

### 1. TO ENSURE AN EFFECTIVE MOLECULAR WELD

- i) **METALLIC SURFACES - APPLY ONLY TO BLAST CLEANED SURFACES**
- Brush away loose contamination and degrease with a rag soaked in **Belzona® 9111** (Cleaner/Degreaser) or any other effective cleaner which does not leave a residue e.g. methyl ethyl ketone (MEK).
  - Select an abrasive to give the necessary standard of cleanliness and a minimum depth of profile of 3 mils (75 microns). Use only an angular abrasive with low chloride content.
  - Blast clean the metal surface to achieve the following standard of cleanliness:
    - ISO 8501-1 Sa 2½ very thorough blast cleaning
    - American Standard near white finish SSPC SP 10
    - Swedish Standard Sa 2½ SIS 05 5900
  - After blasting, metal surfaces should be coated before any oxidation or contamination of the surface takes place.

#### SALT CONTAMINATED SURFACES

##### NOTE: SALT CONTAMINATED SURFACES

The soluble salt contamination of the prepared substrate, immediately prior to application, shall be less than 20mg/m<sup>2</sup> (2µg/cm<sup>2</sup>). Metal surfaces that have been immersed for any periods in salt solutions e.g. sea water, should be blasted to the required standard, left for 24 hours to allow the ingrained salts to sweat to the surface, then washed prior to a further brush blast to remove these. This process may need to be repeated several times to ensure complete removal of the salts. Salt removal aids are commercially available that will assist and speed salt removal. Contact Belzona for best recommendation.

#### PIT FILLING

All welds should be prepared to NACE SP0178 Grade C or better. Deep pitting and rough welds should be smoothed out with **Belzona® 1511** mixed, applied and overcoated in accordance with the relevant IFU.

### 2. COMBINING THE REACTIVE COMPONENTS

Transfer the entire contents of the Solidifier container into the Base container. Mix thoroughly together to achieve a uniform material free of any streakiness.

#### 1. MIXING AT LOW TEMPERATURES

To ease mixing when the material temperature is below 50°F (10°C), warm the Base and Solidifier modules until the contents attain a temperature of 68-77°F (20-25°C).

#### 2. WORKING LIFE

From the commencement of mixing, **Belzona® 1391T** must be used within the times shown below:

Temperature	50°F (10°C)	68°F (20°C)	86°F (30°C)
Use all material within	90 min.	45 min.	22 min.

#### 3. MIXING SMALL QUANTITIES

For mixing small quantities of **Belzona® 1391T** use:  
8.5 parts Base to 1 part Solidifier by weight  
4 parts Base to 1 part Solidifier by volume

#### 4. VOLUME CAPACITY OF MIXED BELZONA® 1391T

32.6 cu.in. (535 cm<sup>3</sup>) per kg.

### 3. APPLYING BELZONA® 1391T

#### FOR BEST RESULTS

##### Do not apply when:

- The temperature is below 50°F (10°C), above 104°F (40°C) or the relative humidity is above 85%.
- The substrate temperature is less than 5°F (3°C) above dewpoint.
- Rain, snow, fog or mist is present.
- There is moisture on the metal surface or is likely to be deposited by subsequent condensation.
- The working environment is likely to be contaminated by oil/grease from adjacent equipment or smoke from kerosene heaters or tobacco smoking.

#### 3.1 COVERAGE RATES

Recommended number of coats	2
Target thickness 1 <sup>st</sup> coat	18 mils (450 microns)
Target thickness 2 <sup>nd</sup> coat	18 mils (450 microns)
Minimum total DFT	24 mils (600 microns)
Maximum DFT (2 coats)	48 mils (1200 microns)
Maximum system DFT in stripe coat or repair areas	70 mils (1750 microns)
Theoretical coverage rate 1 <sup>st</sup> coat	12.7 sq.ft (1.18 m <sup>2</sup> )/kg
Theoretical coverage rate 2 <sup>nd</sup> coat	12.7 sq.ft (1.18 m <sup>2</sup> )/kg
Theoretical coverage rate to achieve minimum recommended system thickness	9.6 sq.ft. (0.89 m <sup>2</sup> )/kg

#### 3.2 PRACTICAL COVERAGE RATES

Appropriate loss factors must be applied to the above coverage rates. In practice, many factors influence the actual coverage rate achieved. On rough surfaces such as pitted steel the practical coverage rate will be reduced. Application at low temperatures will also reduce practical coverage rates further.

#### 3.3 APPLICATION

- Apply the **Belzona® 1391T** directly on to the prepared surface with a stiff bristled brush or with the plastic applicator provided.
- As soon as possible after application of the first coat, apply a further coat of **Belzona® 1391T** as in (a) above.

[www.belzona.com](http://www.belzona.com)

Publication No. 11-03-19

### 3.4 OVERCOAT TIMES

The **Belzona® 1391T** can be overcoated as soon as it is firm enough to do so. At 68°F (20°C) it will be possible to walk on the coating after 6-8 hours, but if access can be gained without walking on the first coat, overcoating can take place after as little as 3-4 hours. The maximum overcoat time is dependent on both temperature and humidity as set out below. After this time the surface must be grit blasted to achieve a frosted appearance with a minimum surface profile of 40 microns.

Temperature	<50% Relative Humidity	>50% Relative Humidity
Up to 68°F (20°C)	24 hours	24 hours
Up to 86°F (30°C)	24 hours	18 hours
Up to 104°F (40°C)	12 hours	8 hours

### 3.5 REPAIRS

Within the overcoat window, any misses, pinholes or mechanical damage can be repaired by application of a further coat direct to the **Belzona® 1391T** surface. Outside of the overcoat window the surface of the **Belzona® 1391T** must be grit blasted or abraded to produce a frosted appearance free of all gloss before coating. A profile of 1.5 mils (40 microns) should be aimed for.

### 3.6 INSPECTION

- Immediately after application of each unit, visually inspect for pinholes and misses. Where detected, these should be immediately brushed out.
- Once the application is complete and the coating is dimensionally stable, carry out a thorough visual inspection to confirm freedom from pinholes and misses, and to identify any possible mechanical damage.
- Spark testing in accordance with NACE SP0188 can be carried out to confirm coating continuity. A voltage of 3kV is recommended to confirm that a minimum coating thickness of 24 mil (600 microns) has been achieved.

### 3.7 COLOR

**Belzona® 1391T** is available in different colors to facilitate application and to prevent misses. These colors are for identification only and there will be some variation between batches. In service the color of the applied product may change.

### 3.8 CLEANING

Mixing tools should be cleaned immediately after use with **Belzona® 9111** or any other effective solvent e.g. Methyl ethyl ketone (MEK). Brushes, injection guns, spray equipment and any other application tools should be cleaned using a suitable solvent such as **Belzona® 9121**, MEK, acetone or cellulose thinners.

## 4. COMPLETION OF THE MOLECULAR REACTION

The coating should be allowed to cure as follows:

Ambient temperature	Time until inspection	Time until full service	Time until post-cure (if required)	
			Dry	Wet
50°F (10°C)	72 hrs	post-cure required	72 hrs	28 days
68°F (20°C)	24 hrs	28 days	24 hrs	7 days
86°F (30°C)	12 hrs	10 days	12 hrs	48 hrs
104°F (40°C)	5 hrs	24 hrs	5 hrs	12 hrs

Post-cure will generally be unnecessary as, in most circumstances, the coating will cure sufficiently at ambient temperature with full cure achieved in service. However, post-cure may be necessary (see table above) or desirable to facilitate faster cure and quicker return to service (see below).

### POST-CURE

If post-cure is necessary or desirable, the coating should be heated to between 122°F (50°C) and 212°F (100°C) for a minimum of 1 hour.

The coating should be allowed to cure as detailed in the above table prior to a dry (e.g. hot air) or wet (e.g. steam and liquid media) post-cure. Wet post-cure can typically be achieved during return to service, provided that the temperature ramp rate does not exceed 54°F (30°C) per hour.

If immediate exposure to aggressive media is to occur prior to achieving a 'full service' cure, post-cure is recommended. Please contact your Belzona representative to discuss specific requirements.

Coated equipment can be transported after the material has achieved the 'inspection' level of cure.

## HEALTH & SAFETY INFORMATION

Please read and make sure you understand the relevant Safety Data Sheets.

The technical data contained herein is based on the results of long term tests carried out in our laboratories and to the best of our knowledge is true and accurate on the date of publication. It is however subject to change without prior notice and the user should contact Belzona to verify the technical data is correct before specifying or ordering. No guarantee of accuracy is given or implied. We assume no responsibility for rates of coverage, performance or injury resulting from use. Liability, if any, is limited to the replacement of products. No other warranty or guarantee of any kind is made by Belzona, express or implied, whether statutory, by operation of law or otherwise, including merchantability or fitness for a particular purpose.

Nothing in the foregoing statement shall exclude or limit any liability of Belzona to the extent such liability cannot by law be excluded or limited.

Copyright © 2019 Belzona International Limited. Belzona® is a registered trademark.

*Belzona products are manufactured under an ISO 9001 Registered Quality Management System*



## PRILOG 4

# PRODUCT SPECIFICATION SHEET

## BELZONA 1321

FN10026



### GENERAL INFORMATION

**Product Description:**

A two component coating system designed to operate under continuous immersion at operating temperatures up to 140°F (60°C). Exhibits excellent erosion-corrosion resistance. Resistant to a broad range of aqueous solutions, hydrocarbons and process chemicals. Also used as a high strength structural adhesive for bonding or for creation of irregular load bearing shims with good electrical insulation characteristics. For use in Original Equipment Manufacture or repair situations.

**Application Areas:**

When mixed and applied as detailed in the Belzona Instructions for Use (IFU), the system is ideally suited for application to the following:

- Centrifugal and turbine pumps
- Propellers
- Pipe elbows
- Heat exchangers, water box ends, division bars and tube sheets
- Butterfly and gate valves
- Kort nozzles
- T-pieces

### APPLICATION INFORMATION

**Working Life**

Will vary according to temperature. At 77°F (25°C) the usable life of mixed material is 30 minutes.

**Cure Time**

Allow to solidify for the times shown in the Belzona IFU before subjecting it to the conditions indicated.

**Volume Capacity**

25.7 cu. in. (422 cm<sup>3</sup>)/kg.

**Coverage rate**

**Belzona 1321** should be applied as a two coat system at a recommended average thickness of 15 mil (375 μm) per coat. At the minimum recommended two coat system thickness of 24 mil (600 μm), the theoretical coverage rate will be 7.6 ft<sup>2</sup> (0.71m<sup>2</sup>)/kg.

**Base Component**

Appearance	Paste
Colour	Grey
Density	2.60 - 2.80 g/cm <sup>3</sup>

**Solidifier Component**

Appearance	Liquid
Colour	Blue or Violet
Density	1.03 - 1.09 g/cm <sup>3</sup>

**Mixed Properties**

Mixing Ratio by Weight (Base : Solidifier)	11 : 1
Mixing Ratio by Volume (Base : Solidifier)	4 : 1
Mixed Form	Liquid
Peak Exotherm Temperature	158 - 185°F (70 - 85°C)
Time to Peak Exotherm	53 - 63 mins.
Sag Resistance	nil at 25 mil (625 microns)
Mixed Density	2.32 - 2.42 g/cm <sup>3</sup>
VOC content (ASTM D2369 / EPA ref. 24)	0.74% / 17.6 g/L

*The above application information serves as introductory guide only. For full application details including the recommended application procedure/technique, refer to the Belzona IFU which is enclosed with each packaged product.*

## PRILOG 5

# PRODUCT SPECIFICATION SHEET

## BELZONA 1212

FN10174



### GENERAL INFORMATION

**Product Description:**

Two component, fast curing, surface tolerant repair paste used as an emergency repair and rebuild system for machinery and equipment. Ideal for use as a high strength structural bonding adhesive or for the creation of irregular load bearing shims.

**Application Areas:**

When mixed and applied as detailed in the Belzona Instructions for Use (IFU), the system is ideally suited for application to damp and oil contaminated surfaces. In addition, the material can be applied underwater.

### APPLICATION INFORMATION

**Application Methods**

Plastic applicator and spatula

**Application Temperature**

Application should ideally occur in the following ambient temperature range: 41°F/5°C to 104°F/40°C

**Volume Capacity**

The volume capacity of mixed material is 12.9 in<sup>3</sup> / 212 cm<sup>3</sup> per 450g unit.

**Cure Time**

Cure times will vary depending on the ambient conditions. At 68°F/20°C, and a thickness of 0.25 in / 6 mm, mechanical loading is possible after 90 minutes. Consult the Belzona IFU for specific details.

**Working Life**

The working life will vary according to the temperature. At 68°F/20°C, the usable life of mixed material will typically be 9 minutes, consult the Belzona IFU for specific details.

**Base Component**

Colour: Black  
Form: Paste  
Density: 1.93 g/cm<sup>3</sup>  
Gel Strength (QH paddle): 127 g/cm

**Solidifier Component**


Colour: Light Grey  
Form: Paste  
Density: 2.32 g/cm<sup>3</sup>  
Gel Strength (QH paddle): 182 g/cm

**Mixed Properties**

Mixing Ratio by Weight (Base : Solidifier) 5 : 6  
Mixing Ratio by Volume (Base : Solidifier) 1 : 1  
Colour: Grey  
Mixed Form: Paste  
Mixed Density: 2.12 g/cm<sup>3</sup>  
Slump Resistance: >0.5 in / >12.7 mm  
VOC (ASTM D2369): 0.06 % / 1.29 g/L

*The above application information serves as introductory guide only. For full application details including the recommended application procedure/technique, refer to the Belzona IFU which is enclosed with each packaged product.*

## PRILOG 6

PRODUCT SPECIFICATION SHEET BELZONA 1391T FN10034		
<b>GENERAL INFORMATION</b>		
<b>Product Description:</b> A two component hand applied coating system designed to operate under continuous immersion at operating temperatures up to 266°F (130°C). Suitable for steaming out up to 410°F (210°C). Exhibits excellent erosion-corrosion resistance at elevated temperatures. Resistant to a broad range of aqueous solutions, hydrocarbons and process chemicals. Also used as a high strength structural adhesive for bonding or for creation of irregular load bearing shims with good electrical insulation characteristics. For use in Original Equipment Manufacture or repair situations.		
<b>Application Areas:</b> When mixed and applied as detailed in the Belzona Instructions for Use (IFU), the system is ideally suited for application to the following:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condensate extraction pumps</li> <li>- Heat exchanger barrels</li> <li>- Scrubber units</li> <li>- Condensate return tanks</li> <li>- Oil/gas and oil/water separators</li> <li>- Calorifiers</li> <li>- Evaporators</li> <li>- Autoclaves</li> <li>- Distillation units</li> </ul>		
<b>APPLICATION INFORMATION</b>		
<b>Working Life</b> Will vary according to temperature. At 68°F (20°C) the usable life of mixed material is 45 minutes.	<b>Base Component</b> Appearance Colour Density	Paste Grey 1.99 - 2.19 g/cm <sup>3</sup>
<b>Cure Time</b> Allow the applied material to solidify for the times shown in the Belzona IFU before subjecting it to the conditions indicated.  <i>* In certain instances, it may be advantageous to post cure material prior to putting into service where chemical contact is involved. Refer to Belzona for specific recommendations.</i>	<b>Solidifier Component</b> Appearance Colour Density	Liquid Blue or Violet 0.97 - 1.01 g/cm <sup>3</sup>
<b>Limitations of Use</b> Belzona 1391T should not be applied at temperatures below 50°F (10°C).	<b>Mixed Properties</b> Mixing Ratio by Weight (Base : Solidifier) Mixing Ratio by Volume (Base : Solidifier) Mixed Form Sag Resistance Mixed Density	8.5 : 1 4 : 1 Liquid nil at 30 mil (0.75 mm) 1.79 - 1.95 g/cm <sup>3</sup>
<b>Volume Capacity</b> 32.6 cu.in. (535 cm <sup>3</sup> )/kg.	<p style="text-align: center;"><i>The above application information serves as introductory guide only. For full application details including the recommended application procedure/technique, refer to the Belzona IFU which is enclosed with each packaged product.</i></p>	