

# Određivanje kriterija prihvatljivosti pripreme površine čeličnih brodskih konstrukcija za zaštitu premazalima

---

**Alviž, Eugen**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:167:294869>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**ODREĐIVANJE KRITERIJA PRIHVATLJIVOSTI  
PRIPREME POVRŠINE ČELIČNIH BRODSKIH  
KONSTRUKCIJA ZA ZAŠTITU PREMAZIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**EUGEN ALVIŽ**

**Matični broj: 229**

**Split, prosinac 2020.**



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**DIPLOMSKI STUDIJ KEMIJSKE TEHNOLOGIJE**  
**ZAŠTITA OKOLIŠA**

**ODREĐIVANJE KRITERIJA PRIHVATLJIVOSTI**  
**PRIPREME POVRŠINE ČELIČNIH BRODSKIH**  
**KONSTRUKCIJA ZA ZAŠTITU PREMAZIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**EUGEN ALVIŽ**

**Matični broj: 229**

**Split, prosinac 2020.**

**UNIVERSITY OF SPLIT**  
**FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**  
**GRADUATE STUDY OF CHEMICAL TECHNOLOGY**  
**ENVIROMENTAL PROTECTION**

**ESTABLISHING ACCEPTANCE CRITERIA FOR THE  
SURFACE PREPARATION OF SHIP'S STEEL  
STRUCTURES FOR COATINGS PROTECTION**

**DIPLOMA THESIS**

**EUGEN ALVIŽ**

**Parent number: 229**

**Split, December 2020.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu  
Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu  
Studij: Diplomski studij Kemijske tehnologije

**Znanstveno područje:** Tehničke znanosti  
**Znanstveno polje:** Kemijsko inženjerstvo  
**Tema rada** je prihvaćena na XXVIII. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko-tehnološkog fakulteta  
**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Ivana Smoljko  
**Pomoć pri izradi:** Jasmin Hadžić, mag. ing. cheming.

### ODREĐIVANJE KRITERIJA PRIHVATLJIVOSTI PRIPREME POVRŠINE ČELIČNIH BRODSKIH KONSTRUKCIJA ZA ZAŠTITU PREMAZIMA

Eugen Alviž, 229

#### Sažetak

Najzastupljenija metoda zaštite brodskih čeličnih konstrukcija od korozije je primjenom premaza, a kvaliteta antikorozivne zaštite jedan je od osnovnih uvjeta za osiguranje dugotrajnosti konstrukcija. U ovom radu određeni su kriteriji prihvatljivosti određenih stupnjeva pripreme površine brodograđevnih limova tipa A za nanošenje sustava premaza. Na uzorke brodograđevnog čelika, koji su pripremljeni na različite stupnjeve čistoće, nanesen je sustav od tri premaza te su ispitana fizikalna, mehanička i antikorozivna svojstva sustava premaza prema važećim HR normama. Također, određene su emisije hlapivih organskih spojeva tijekom postupka antikorozivne zaštite.

**Ključne riječi:** brodograđevni čelik, korozija, priprema površine, korozijska zaštita, premaz

**Rad sadrži:** 91 stranicu, 30 slika, 22 tablice, 14 literaturnih referenci i 24 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

#### Sastav Povjerenstva za obranu:

1. prof. dr. sc. Ladislav Vrsalović	predsjednik
2. doc. dr. sc. Mario Nikola Mužek	član
3. izv.prof.dr. sc. Ivana Smoljko	član-mentor

**Datum obrane:** 18.12.2020.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen** u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

DIPLOMA THESIS

**University of Split**  
**Faculty of Chemistry and Technology Split**  
**Study:** Graduate Study of Chemical Technology

**Scientific area:** Technical Sciences  
**Scientific field:** Chemical Engineering  
**Thesis subject** was approved by Faculty of Chemistry and Technology session no. XXVIII.  
**Mentor:** Ph. D. Ivana Smoljko, Associate Professor  
**Technical assistance:** Jasmin Hadžić, mag. ing. cheming.

### ESTABLISHING ACCEPTANCE CRITERIA FOR THE SURFACE PREPARATION OF SHIP'S STEEL STRUCTURES FOR COATINGS PROTECTION

Eugen Alviž, 229

#### **Abstract**

The most common method of corrosion protection of ship's steel structures is by coatings, and the quality of corrosion protection is one of the basic construction requirements for ensuring its's longevity. In this paper, the criterion of acceptability of surface preparation degrees of ship-construction steel sheets (type A) before application of protective coating systems was established. A system of three coatings was applied on the surface of ship-construction steels samples which were prepared by different preparation methods and preparation grades. Afterwards physical, mechanical and anticorrosive properties of the protective coating system were tested according to the valid Croatian standards. Also, emissions of volatile organic compounds during the corrosion protection process were determined.

**Keywords:** ship-construction steel; corrosion; surface preparation; corrosion protection; coating

**Thesis contains:** 91 pages, 30 figures, 22 tables, 14 references and 24 supplements

**Origin in:** Croatian

#### **Defence committee:**

- |   |              |
|---|--------------|
| 1. Ph. D. Ladislav Vrsalović, Full Professor      | chair person |
| 2. Ph. D. Mario Nikola Mužek, Assistant Professor | member       |
| 3. Ph. D. Ivana Smoljko, Associate Professor      | supervisor   |

**Defence date:** 18.12.2020.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

*Diplomski rad je izrađen u Zavodu za elektrokemiju i zaštitu materijala, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Ivane Smoljko u suradnji s tvrtkom Brodosplit - Zaštita trupa od korozije d.o.o. pod vodstvom Jasmina Hadžića, mag. ing. cheming. voditelja radova i kontrola kvalitete antikorozivne zaštite u razdoblju od ožujka do prosinca 2020. godine.*



*Zahvaljujem se osoblju Zavoda za elektrokemiju i zaštitu materijala, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu, na pomoći pri izradi ovog diplomskog rada. Posebno se zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Ivani Smoljko i mentoru mag. ing. cheming. Jasminu Hadžiću. Također zahvaljujem i posvećujem ovaj rad osobama bez kojih sve ovo nebi bilo moguće. Majko hvala ti! Nažalost bolest je učinila svoje i nije dopustila najmilijima da prožive ovaj dan. Oče počivaj u miru.*

## **ZADATAK DIPLOMSKOG RADA**

Tvrtka Brodosplit – Zaštita trupa od korozije d.o.o. kao Izvršitelj radova antikorozivne zaštite dobila je od Brodograđevne industrije Split d.d. kao Naručitelja radova zadatak da za projekt prenamjene novogradnje 475 (riječna plovidba) u novogradnju 780 (morska plovidba) odredi optimalni tehničko – tehnološki postupak antikorozivne zaštite. Jedan od zadataka Izvršitelja radova, kao inženjering društva, je odrediti kvalitetu sustava nanesenih premaza kako bi se mogla odabrati najbolja metoda za pripremu čeličnih površina u brodogradnji prema HR EN ISO 12944 standardu za kategoriju korozivnosti C5-M uz garanciju postojanosti sustava antikorozivne zaštite od 15 godina.

U sklopu navedenog projekta potrebno je pripremiti čelične limove (etalone) na različite stupnjeve čistoće površine, nanijeti sustav premaza te ispitati fizikalna, mehanička i antikorozivna svojstva sustava premaza. Također, treba odrediti i emisije hlapljivih organskih spojeva. Čelični limovi služit će kao referentne površine za određivanje optimalnog pogonskog tehničko – tehnološkog postupka antikorozivne zaštite brodskih konstrukcija, kao i kontrolne metode za određivanje kvalitete nanesenih premaza.

## SAŽETAK

Najzastupljenija metoda zaštite brodskih čeličnih konstrukcija od korozije je primjenom premaza, a kvaliteta antikorozivne zaštite jedan je od osnovnih uvjeta za osiguranje dugotrajnosti konstrukcija. U ovom radu određeni su kriteriji prihvatljivosti određenih stupnjeva pripreme površine brodograđevnih limova tipa A za nanošenje sustava premaza. Na uzorke brodograđevnog čelika, koji su pripremljeni na različite stupnjeve čistoće, nanesen je sustav od tri premaza te su ispitana fizikalna, mehanička i antikorozivna svojstva sustava premaza prema važećim HR normama. Također, određene su emisije hlapivih organskih spojeva tijekom postupka antikorozivne zaštite.

**Ključne riječi:** brodograđevni čelik, korozija, priprema površine, korozijska zaštita, premaz

## **ABSTRACT**

The most common method of corrosion protection of ship's steel structures is by coatings, and the quality of corrosion protection is one of the basic construction requirements for ensuring its' longevity. In this paper, the criterion of acceptability of surface preparation degrees of ship-construction steel sheets (type A) before application of protective coating systems was established. A system of three coatings was applied on the surface of ship-construction steels samples which were prepared by different preparation methods and preparation grades. Afterwards physical, mechanical and anticorrosive properties of the protective coating system were tested according to the valid Croatian standards. Also, emissions of volatile organic compounds during the corrosion protection process were determined.

**Keywords:** ship-construction steel; corrosion; surface preparation; corrosion protection; coating

# SADRŽAJ

UVOD.....	1
<b>1. OPĆI DIO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. KOROZIJA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. ZAŠTITA MATERIJALA OD KOROZIJE.....</b>	<b>4</b>
<i>1.2.1. Zaštita čelika od korozije .....</i>	<i>4</i>
1.2.1.1. Zaštita upotrebom premaza .....	6
1.2.1.2. Komponente premaza.....	6
1.2.1.3. Podjela premaza .....	10
1.2.1.4. Odabir odgovarajućeg sustava premaza (HRN EN ISO 12944) .....	10
1.2.1.5. Stanje metalne površine prije nanošenja premaza.....	14
1.2.1.6. Priprema metalne površine za nanošenje premaza.....	17
1.2.1.7. Nanošenje organskih premaza.....	21
1.2.1.8. Vrste premaza za zaštitu čeličnih brodskih konstrukcija .....	22
<b>1.3. OTPAD.....</b>	<b>25</b>
<i>1.3.1. Vrste otpada u procesima pripreme površina i nanošenja premaza.....</i>	<i>25</i>
<i>1.3.2. Gospodarenje otpadom.....</i>	<i>26</i>
<i>1.3.3. Dokumentacija o otpadu .....</i>	<i>27</i>
<b>1.4. ŠTETNE EMISIJE HLAPIVIH ORGANSKIH SPOJEVA U ZRAK I</b>	
<b>ZAKONSKE REGULATIVE.....</b>	<b>28</b>
<i>1.4.1. Program smanjivanja emisija HOS-a .....</i>	<i>28</i>
<i>1.4.2. Program smanjivanja emisija .....</i>	<i>29</i>
<b>2. EKSPERIMENTALNI DIO.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1. PRIMJENJENI MATERIJALI I APARATURA.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2. METODE RADA .....</b>	<b>33</b>
<i>2.2.1. Priprema čeličnih podloga prije nanošenja premaza prema normi HRN EN ISO</i>	
<i>8504-1:2002 .....</i>	<i>33</i>
<i>2.2.2. Ispitivanja za procjenu čistoće površine.....</i>	<i>34</i>
2.2.2.1. Ocjena zapašenosti čeličnih površina pripremljenih za bojenje prema normi	
HRN EN ISO 8502-3:2004 .....	34
2.2.2.2. Mjerenje hrapavosti površine prema normi HRN EN ISO 8503-2:2012.....	34
2.2.2.3. Određivanje sadržaja soli topljivih u vodi .....	36
<i>2.2.3. Nanošenje premaza .....</i>	<i>37</i>
2.2.3.1. Određivanje meteoroloških parametara .....	37

2.2.3.2. Nanošenje prvog premaza (Hempadur 1557/12340) .....	38
2.2.3.3. Nanošenje drugog premaza (Hempadur quattro 17634/22090) .....	39
2.2.3.4. Nanošenje završnog premaza (Hemphatane Topcoat 55210/10000) .....	40
2.2.3.5. Određivanje debljine mokrog filma premaza .....	40
2.2.4. <i>Određivanje debljine suhog filma premaza</i> .....	41
2.2.5. <i>Određivanje poroznosti u suhom filmu</i> .....	42
2.2.6. <i>Ispitivanje korozije u umjetnoj atmosferi – Metoda ispitivanja u slanoj komori</i>	43
2.2.7. <i>Ispitivanja prionjivosti premaza vlačnom metodom</i> .....	43
<b>3. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1. REZULTATI ISPITIVANJA ZA PROCJENU ČISTOĆE PRAŠINE</b> .....	<b>48</b>
3.1.1. <i>Rezultati ocjene zaprašenosti čeličnih površina pripremljenih za bojanje</i> .....	48
3.1.2. <i>Rezultati mjerenja hrapavosti površine prema normi HRN EN ISO 8503-2:2012</i> .....	48
3.1.3. <i>Rezultati određivanja sadržaja soli topljivih u vodi</i> .....	50
<b>3.2. REZULTATI ODREĐIVANJA METEOROLOŠKIH PARAMETARA</b> .....	<b>51</b>
<b>3.3. REZULTATI MJERENJA DEBLJINE MOKROG I SUHOG FILMA</b>	
<b>PREMAZA</b> .....	<b>52</b>
3.3.1. <i>Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma prvog premaza</i> .....	52
3.3.2. <i>Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma drugog premaza</i> .....	53
3.3.3. <i>Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma završnog premaza</i> .....	54
<b>3.4. REZULTATI MJERENJA POROZNOSTI U SUHOM FILMU PREMAZA</b> ....	<b>56</b>
<b>3.5. REZULTATI ISPITIVANJA KOROZIJE U SLANOJ KOMORI</b> .....	<b>57</b>
<b>3.6. REZULTATI ISPITIVANJA PRIONJIVOSTI PREMAZA VLAČNOM</b>	
<b>METODOM</b> .....	<b>58</b>
<b>3.7. REZULTATI MJERENJA HOS-A</b> .....	<b>65</b>
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>66</b>
<b>5. LITERATURA</b> .....	<b>67</b>
<b>6. PRILOZI</b> .....	<b>68</b>

## UVOD

Tvrtka Brodosplit – Zaštita trupa od korozije d.o.o., kontinuirano istražuje i unaprjeđuje tehničko – tehnološke postupke antikorozivne zaštite brodgrađevnih i vanbrodgrađevnih konstrukcija prvenstveno kako bi postigla njihovu što bolju zaštitu, uz odgovarajuće estetske i funkcionalne značajke, i duži uporabni vijek. Pri tome nastoji ekonomskim i ekološkim poslovanjem te kvalitetom svojih proizvoda i usluga biti prepoznata kao pouzdan konkurent na globalnom tržištu.

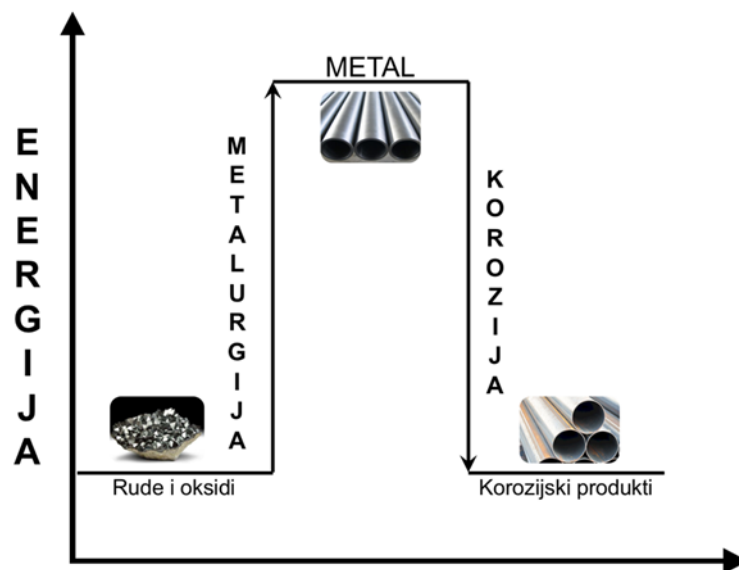
Najzastupljenija metoda zaštite brodskih čeličnih konstrukcija od korozije je primjenom premaza, a kvaliteta antikorozivne zaštite jedan je od osnovnih uvjeta za osiguranje dugotrajnosti konstrukcija. Stoga je predmet interesa ovog rada bio, u sklopu projekta prenamjene novogradnje 475 (riječna plovidba) u novogradnju 780 (morska plovidba), odrediti kvalitetu sustava premaza nanesenih na čelične površine pripremljene na različite stupnjeve čistoće prema HR EN ISO 12944 normi za kategoriju korozivnosti C5-M uz garanciju postojanosti sustava antikorozivne zaštite od 15 godina. Ispitana su fizikalna, mehanička i antikorozivna svojstva sustava premaza. Također, određene su emisije hlapivih organskih spojeva.

# 1. OPĆI DIO

## 1.1. KOROZIJA

Korozija se može definirati kao spontan heterogen kemijski proces u kojem kao reaktanti sudjeluju konstrukcijski materijal, odnosno barem jedna njegova faza ili komponenta i bar jedna faza ili komponenta okoline koja može biti tekuća, plinovita ili čvrsta.<sup>1</sup>

Temeljni uzrok ili pokretačka snaga korozije težnja je neplemenitih metala da se iz metastabilnog stanja više, vrte u ravnotežno stanje niže energije, koju su imali prije nego su ekstrahirani iz ruda i oksida (slika 1).



Slika 1. Prikaz energijskih promjena pri dobivanju i koroziji metala.<sup>2</sup>

Korozijske procese se klasificira prema mehanizmu djelovanja, izgledu korozijskog oštećenja i korozivnoj sredinama.

Prema mehanizmu djelovanja korozija se dijeli na:

- kemijsku koroziju – posljedica je kemijskih reakcija između metala i okoline (korozija u neelektrolitima i u suhim plinovima),
- elektrokemijsku koroziju – koja se odvija u električnim vodljivim kapljevinama (elektrolitima).



Prema izgledu korozijskog oštećenja oblici korozije jesu:

- opća korozija – najčešći oblik korozijskog napada, koji ravnomjerno zahvaća čitavu izloženu površinu metala. Intenzitet oštećenja je svuda podjednak ili lokalno različit
- lokalna korozija – ili mjestimična korozija zahvaća dio izložene površine metala, a može se biti:
  - pjegasta,
  - rupičasta ili *pitting*, engl. pojava jamica korozija koja je ujedno i najopasniji oblik korozije posebno za konstrukcijske elemente,
  - potpovršinska,
  - kontaktna,
- selektivna korozija – različitom brzinom napada pojedine komponente, tj. faze višekomponentnih ili višefaznih materijala
- interkristalna korozija – nastaje na granicama zrna (kristalita) i napreduje prema unutrašnjosti materijala, a na površini je često nevidljiva.

Prema korozivnim sredinama u kojima se odvija korozija se dijeli:

- atmosfersku koroziju,
- koroziju u tlu,
- koroziju u suhim plinovima,
- koroziju u neelektrolitima,
- koroziju u elektrolitima,
- kontaktnu koroziju,
- koroziju zbog lutajućih struja,
- koroziju uz naprezanje,
- biokoroziju.

## 1.2. ZAŠTITA MATERIJALA OD KOROZIJE

Konstruktivski materijali trebali bi uz što nižu cijenu imati izvrsna mehanička svojstva i svojstva obradljivosti, a u isto vrijeme osiguravati i korozivsku otpornost. Međutim, konstruktivski materijali podložni su štetnim promjenama, tj. pojavama i procesima koji smanjuju njihovu uporabnu vrijednost i vijek trajanja materijala, uzrokujući ekološke te ekonomske probleme.

Metode zaštite od korozije temelje se na teoriji korozivskih procesa. Izmjenama unutrašnjih (karakteristike konstruktivskog materijala) i vanjskih (karakteristike okoline) faktora nastoji se smanjiti ili poništiti afinitet za korozivski proces i povećati otpor koroziji. Pri tome se primjenjuju različite metode/tehnologije zaštite od korozije koje se u osnovi mogu podijeliti na:<sup>3</sup>

- primjenu korozivski postojanijih materijala,
- zaštitu od korozije nanošenjem prevlaka,
- konstruktivsko - tehnološke mjere,
- električne metode zaštite i
- zaštita promjenom okolnosti (npr. inhibitorima korozije),

koje se vrlo često i međusobno kombiniraju radi učinkovitije zaštite.

### 1.2.1. Zaštita čelika od korozije

Korozivsko ponašanje je jedan od važnijih kriterija za izbor konstruktivskih materijala. Materijali prema korozivskom ponašanju mogu biti imuni (ako ne korodiraju jer ne postoji afinitet za proces korozije), aktivni (ako korodiraju) i pasivni (ako vrlo sporo korodiraju zbog snažnog kočenja procesa korozije).

Mnogobrojni priručnici sadrže tablice koje pokazuju je li određen metal ili legura pogodan za određene korozivske uvjete ili ne. Temeljem informacija iz priručnika, ali i iskustvom iz prakse bira se odgovarajući materijal. Također, u obzir se moraju uzeti i podatci kao što su dugovječnost samog materijala, te mjesto na kojem se će se taj materijal koristiti radi lakšeg pristupa i zamjene starog materijala novim. Ekonomski faktor također je bitan prilikom izbora materijala, no daljnja razmatranja uzimaju u obzir kombinaciju različitih materijala te rizik o samoj vrsti korozije u danim uvjetima.

Kao najčešći konstrukcijski materijal koristi se nehrđajući čelik. Naime, čisto željezo ne zadovoljava uvjete tehničke upotrebe. Željezo legirano s ugljikom te drugim elementima kao što su mangan (Mn) i silicij (Si) čini čelik, najčešće korišten konstrukcijski materijal. Čelik, koji se može još i nazivati ugljični čelik, sadrži do 1,3 % ugljika, dok u slučaju lijevnog željeza ono sadrži između 2 – 4 % ugljika. Ugljik u željezu je važan za njegovu vlačnu čvrstoću, no željezu osim ugljika drugi elementi daju određena svojstva. Već spomenuti silicij u leguri s čelikom pomaže stvaranju debelog sloja cinka (Zn) prilikom galvaniziranja. Osim mangana i silicija za legiranje se također koriste, u malim količinama, elementi kao što su nikal (Ni), molibden (Mb), fosfor (P) te vanadij (V) koji daju određena svojstva samom čeliku. Ovako legirani čelici imaju istu otpornost prema koroziji kao i nelegirani čelici.

**Niskolegirani čelik** - posebna je vrsta legiranog čelika, koji izložen vanjskim uvjetima, ima bolju otpornost prema koroziji od običnog legiranog konstrukcijskog čelika. Razlog tome je neznatno veći udio kroma, fosfora i bakra u leguri. Početni period početka korozije kod ovog tipa čelika traje od 1,5 do 4 godine. Tijekom ovog perioda na površini se stvara uniformni, gusti sloj koji se naziva patina. Za razliku od korozijskog sloja ugljičnog čelika, gdje je sloj korozije porozan, sloj patine zbog svoje gustoće usporava daljnje korodiranje samog materijala. Nelegirani čelici su najbolji u promjenjivim uvjetima gdje je jedan period vlažno, a drugi period suho vrijeme, a razlog tomu je što se u konstanto vlažnim uvjetima onemogućava stvaranja patine kao zaštitnog sloja.

**Nehrdajući čelik** - za razliku od niskolegiranih čelika, nehrđajući čelik ima znatno veći udio drugih elemenata u rasponu od 15 do 30 %. Općenito, različite vrste nehrđajućeg čelika razvrstane su po kristalnoj strukturi, a to su: feritna, austenitna i feritno-austenitna. Razlika u strukturi određuje i odnos prema korozijskom procesu pa tako za morske uvjete, bogate kloridima u kojima se javlja opasnost od pitting i pukotinske korozije, najčešće se koristi čelik austenitne strukture. Glavni element za legiranje kod nehrđajućeg čelika je krom koji na površini stvara tanki film kromovog oksida. U leguri ga mora biti najmanje 11 % da bi se izbjeglo stvaranje hrđe na površini.

### 1.2.1.1. Zaštita upotrebom premaza

U izboru različitih materijala za zaštitu od korozije premazi su najlakša, najjednostavnija i najekonomičnija mjera za smanjenje korozijskog gubitka utroška prirodnih resursa i energije.

Premazi su tekući ili praškasti proizvodi u kojima su sadržani pigmenti, a nanoseni u vrlo tankim slojevima na podlogu prelaze u tvrd, dobro prijanjajući film, koji služi u zaštitne i/ili dekorativne svrhe. Samim svojim prisustvom između površine i okoline stvaraju zonu koja odvaja površinu od utjecaja okoline. Može se reći da premazi štite materijal od korozije na tri različita načina:

- služe kao barijera koja onemogućava direktan kontakt materijala i okoline
- inhibiraju koroziju pomoću aktivnog djelovanja pojedinih pigmenata u prevlacima. Kao pigmenti korišteni su crveno olovo i cinkovi kromati. Navedeni pigmenti se danas rijetko koriste radi štetnog utjecaja na zdravlje. Umjesto njih upotrebljavaju se pigmenti na bazi cinkovog fosfata.
- galvanskim djelovanjem pigmenata. Ovaj način zaštite se još naziva i katodna zaštita. Premazi koji se koriste su bogati cinkom koji je neplemenitiji materijal i on će biti izložen koroziji, dok će čelik biti zaštićen. Kako su produkti korozije cinka malo topljivi u vodi, prevlake s cinkovim prahom nisu pogodne za površine koje su neprestano uronjene u vodi, ali cinkov silikat se zbog svoje dobre otpornosti na otapala primjenjuje kao zaštita u spremnicima za otapala.

### 1.2.1.2. Komponente premaza

Osnovne komponente premaza su: veziva, pigmenti, punila, otapala, te dodaci kao što su inhibitori, razrjeđivači, plastifikatori i očvršćivači.

**Veziva** su neisparljivi dio premaznih sredstava, koji povezuju sve komponente u homogenu cjelinu stvarajući koherentan, neprekidni sloj, koji potpuno prijanja uz podlogu. Određuju mehanička i kemijska svojstva premaza te principe i tehnike pripreme površine te nanošenje zaštitnog sustava. Dije se prema porijeklu na prirodna i umjetna, no češća je podjela prema načinu sušenja, tj. stvaranju filma (fizikalno sušenje ili kemijsko sušenje - oksidacijsko, dvokomponentno i ostali

mehanizmi stvaranja filma). Moguće su modifikacije ili kombinacije osnovnih tipova veziva.

Kod većine premaza veziva su organski materijali kao biljna sušiva i polusušiva ulja, celulozni derivati, klor-kaučuk, voskovi, gumene smjese, dok u nekim slučajevima mogu biti i anorganske tvari kao što su cement i silikati.<sup>4</sup>

**Pigmenti** su anorganske ili organske praškaste fino dispergirane tvari s velikim indeksom loma, tj. to su tvari koje selektivno apsorbiraju i reflektiraju svjetlost, a posljedica toga je određeno obojenje koje daju premazima. Pigmenti povećavaju premazima zaštitna svojstva, kemijsku postojanost i toplinsku stabilnost. Osim toga oni štite veziva od UV zračenja i samim tim od njihovog raspadanja. Neki pigmenti mogu aktivno osigurati antikorozivnu zaštitu i kao takvi se koriste u primarnim premazima. To su privremeni zaštitni temeljni radionički premazi, tzv. shopprimeri koji u sebi sadrže cinkove spojeve koji služe kao pasivatori. Cinkov prah kao pigment se koristi u premazima kako bi osigurao katodnu zaštitu materijala, no da bi se omogućila katodna zaštita mora postojati kontakt između čestica cinka i metalne površine koja se štiti. Drugi metali, kao što je aluminij, se koriste kao pigmenti, ali u formi „pahuljica“.<sup>5</sup> Aluminij ojačava barijerni efekt usporavajući transport zraka i vlage kroz film. Uobičajeni pigmenti dostupni su kao fini praškovi čestica promjera oko 1 µm, a u nekim slučajevima i puno manjih dimenzija. Tijekom proizvodnje premaza jako je važno da se čestice pigmenta dobro rasporede kroz cijelu vezivnu fazu premaza (disperzija) te se ne smiju stvarati aglomerati čestica pigmenta.

Pigmenti boja se mogu podijeliti na organske i anorganske pigmente. Anorganski pigmenti se dalje mogu podijeliti na prirodne i sintetske:

- prirodni: talijanska crvena, sierina zemlja, „umbra“
- sintetski: crveni željezni oksid, žuti željezni oksid

Organski pigmenti pružaju najširi spektar boja. Dobivaju se dugim nizom kemijskih procesa sinteze. Baza im mogu biti prirodni materijali mineralnih ulja ili ugljena. Za razliku od anorganskih, organski pigmenti imaju puno veću otpornost prema svjetlu i povišenim temperaturama.

**Punila** su minerali koji se često dodaju vezivu umjesto jednog dijela pigmenta u cilju poboljšanja mehaničkih i termičkih svojstava premaza te sniženja njegove cijene. Ona također poboljšavaju kemijsku i korozivnu otpornost premaza te pojačavaju otpornost na abraziju i udarce i sl.<sup>4</sup>

**Otapala** su hlapive organske tvari koje fizikalno mogu otopiti veziva premaznih sredstava bez utjecaja na vezivo i bez vlastitih promjena. Ona razrjeđuju boju kako bi je mogli što lakše nanijeti na metal nakon čega ishlape ostavljajući suhi film. Otapalo mora biti kompatibilno s vezivom. Važni faktori pri izboru otapala su sposobnost otapanja, vrelište ili destilacijski interval, hlapivost, točka plamišta, cijena i otrovnost. Otapala kao hlapljive supstance isparavaju iz premaza više - manje brzo. Točka ključanja može dati uvid kojom će brzinom otapalo ispariti pa tako visoka točka ključanja znači sporo isparavanje i obrnuto. Isparavanje se također može uzeti u obzir relativno na isparavanje butil acetata čija je brzina hlapljivosti 1. Tako etanol s obzirom na butil acetat ima vrijednost hlapljivosti 1,9 što znači da će duplo brže ispariti nego sam butil acetat. U premazima otapala moraju imati odgovarajuću brzinu isparavanja. Ako otapalo ispari prebrzo s premazom će biti teško rukovati. Dok s druge strane ako isparava sporo prilikom nanošenja premaza javlja se zarobljavanje samog otapala u filmu što rezultira u greškama premaza. Često korišten pojam za otapala je HOS što je skraćena od hlapljivi organski spojevi. U tablici 1 su prikazani neki od najvažnijih otapala.

Tablica 1. Neki od najvažnijih otapala<sup>6</sup>

Otapala	Plamište / °C	Točka ključanja /°C	Relativna hlapivost
<b>Alifatski ugljikovodici</b>			
Bijeli špirit, obični	40	160 - 200	0,1
Bijeli špirit, visoko zapaljiv	53	180 - 210	0,05
Bijeli špirit, dearomatiziran	40	160 - 200	0,1
<b>Aromatski ugljikovodici</b>			
Toluen	7	110	2,6
Ksilen	27	130 - 140	0,8
Trimetilbenzen	48		0,2
<b>Cikloalifatski ugljikovodici</b>			
Terpentin	35 - 40	150 - 180	
Dipentan	43	175 - 195	1,7
<b>Klorirani ugljikovodici</b>			
Trikloretilen	Nezapaljiv	86,7	
<b>Alkoholi</b>			
Etilni alkohol	13,9	78,3	1,9
Izopropil alkohol	11,7	82,3	1,7
Butil alkohol	34,5	117,7	0,5
<b>Ketoni</b>			
Aceton	Ispod 0	56,1	7,7
Metiletilketon	Ispod 0	79,6	4,6
<b>Esteri</b>			
Etil acetat	-4	77,1	4,1
Butil acetat	25	126,5	1

**Dodaci** su tvari koje se dodaju premazima u cilju poboljšanja nekih njihovih svojstava te se mogu podijeliti na okvašivače i disperzante, reološke dodatke, antipjeniče, dodatke za poboljšanje izgleda površine, sušila i katalizatore, konzervanse, svjetlosne stabilizatore i korozijske inhibitore.

### 1.2.1.3. Podjela premaza

Premazi se mogu podijeliti na više načina, no u praksi se ipak najčešće razvrstavaju na osnovi vrste vezivnog sredstva. Prema toj podjeli, najvažnije skupine premaza su na osnovi: sušivih ulja, poliplastičnih veziva (alkidne smole), epoksidnih smola, poliuretanskih smola, vinilnih smola, akrilata, politetrafluoretilena (PTFE), nezasićenih poliester, fenoplasta, silikona, prirodnih smola i gumenih veziva na osnovi vulkaniziranog kaučuka. U novije se vrijeme teži sniženju udjela zapaljivih, eksplozivnih i otrovnih otapala u premazu te zamjeni premaza na bazi otapala ekološki prihvatljivijim premazima. Također, premazi se mogu podijeliti prema vrsti otapala na vodotopive i vodorazrijedive, topive u organskim otapalima i one bez otapala. Prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja premazi se dijele na jednokomponentne, dvokomponentne i višekomponentne.

Prema vizualnom efektu stvorenog filma mogu biti sjajni, mat ili polumat, obojeni ili bezbojni, transparentni, standardni, reljef ili metalik premazi.

Prema načinu stvaranja filma premazi se dijele na fizikalno sušive i kemijsko sušive. Kemijsko sušenje može biti pri sobnoj ili povišenoj temperaturi.

Prema podlogama na koje se nanose dijele se na premaze za metal, premaze za mineralne podloge i premaze za drvo.

Prema zadatku u premaznom sustavu premazi se dijele na temelje i temeljne boje, međuslojne premaze, završne premaze, impregnacije i kitove.<sup>7</sup>

### 1.2.1.4. Odabir odgovarajućeg sustava premaza (HRN EN ISO 12944)

Učinkovitost zaštite ovisi o pravilnom odabiru sustava premaza, svojstvima premaza te stanju metala i tehnologiji nanošenja premaza.

Popis normi za izvođenje, zaštitu, održavanje, kontrolu i ispitivanje čeličnih konstrukcija definiran je Tehničkim propisom za čelične konstrukcije (NN 112/2008).<sup>8</sup>

U dijelu propisa Izvođenje i održavanje čeličnih konstrukcija, dio Zaštita od korozije naveden je standard HRN EN ISO 12944: „Boje i lakovi – Zaštita čeličnih konstrukcija primjenom zaštitnih sustava premaza“ sastoji se od sljedećih dijelova:<sup>8</sup>

1. Opći uvod (ISO 12944-1:1998; EN ISO 12944-1:1998)
2. Razredba okoliša (ISO 12944-2:1998; EN ISO 12944-2:1998)



3. Razmatranje oblikovanja (ISO 12944-3:1998; EN ISO 12944-3:1998)
4. Vrste površina i priprema površina (ISO 12944-4:1998; EN ISO 12944-4:1998)
5. Zaštitni sustavi premaza (ISO 12944-5:1998; EN ISO 12944-5:1998)
6. Metode laboratorijskih ispitivanja svojstava (ISO 12944-6:1998; EN ISO 12944-6:1998)
7. Izvođenje i nadzor radova bojenja (ISO 12944-7:1998; EN ISO 12944-7:1998)
8. Razvoj specifikacija za nove radove i održavanje (ISO 12944-8:1998; EN ISO 12944-8:1998)

Odabir odgovarajućeg sustava premaza za zaštitu od korozije uključuje čitav niz čimbenika koje valja uzeti u obzir kako bi se osiguralo najekonomičnije i tehnički najbolje rješenje. Za svaki projekt najbitniji čimbenici koje treba uzeti u razmatranje prije nego što se započne s odabirom zaštitnog premaza su sljedeći:<sup>9</sup>

- Korozivnost okoliša

Prilikom odabira sustava premaza od presudne je važnosti da se razrade uvjeti u kojima će konstrukcija, objekt ili instalacija raditi. Kako bi se ustanovio učinak korozivnosti okoliša, potrebno je uzeti u obzir sljedeće čimbenike:

- vlažnost i temperaturu (temperaturu u eksploataciji i temperaturne gradijente)
- prisustvo UV zračenja
- kemijska izloženost (npr. izloženost određenim kemikalijama u industrijskim tvornicama)
- mehanička oštećenja (udar, abrazija itd.)

U slučaju kad se radi o ukopanim konstrukcijama, potrebno je uzeti u obzir njihovu korozivnost i uvjete tla kojima su one izložene, pH kao i biološka izloženost utjecaju bakterija i mikroorganizama. Kad se radi o vodenom okolišu, bitno je utvrditi vrstu vode i njezin kemijski sastav.

Korozivna agresivnost okoliša utjecat će na vrstu boje koja se koristi za zaštitu, ukupnu debljinu sustava premaza, potrebnu pripremu površine, minimalne i maksimalne međupremazne intervale. Treba imati na umu da što je okoliš korozivniji, to će tražena priprema površine biti zahtjevnija. Također treba posebno pripaziti na međupremazne intervale. ISO 12944 ima 6 temeljnih kategorija vezano za atmosfersku koroziju što je prikazano u tablici 2.

Tablica 2. Kategorije atmosferske korozivnosti prema standardu HRN EN ISO 12944<sup>9</sup>

Kategorija korozivnosti	Primjeri okoliša	
	Vanjski	Unutarnji
<b>C1</b> jako niska	-	Grijane zgrade sa čistom atmosferom, poput ureda, dućana, škola, hotela i dr.
<b>C2</b> niska	Lagano onečišćena atmosfera, uglavnom ruralna područja.	Negrijane zgrade u kojima može doći do pojave kondenzacije, npr. spremišta, sportske dvorane.
<b>C3</b> srednja	Industrijska i urbana atmosfera s prosječnom razinom onečišćenja sumpor(IV) oksidom. Priobalna područja niskog saliniteta.	Proizvodni objekti s visokom vlažnošću i određenim stupnjem onečišćenja zraka, npr. tvornice hrane, praonice, pivovare, mljekare
<b>C4</b> visoka	Industrijska i priobalna područja srednjeg saliniteta	Kemijske tvornice, bazeni, remontna brodogradilišta
<b>C5-I</b> jako visoka (industrijska)	Industrijska područja s vrlo visokom vlažnošću i agresivnom atmosferom	Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja
<b>C5-M</b> jako visoka (morski okoliš)	Priobalje i pučina s visokom razinom saliniteta	Zgrade i površine sa gotovo konstantnom kondenzacijom i visokom razinom onečišćenja

Kategorije korozivnosti vode i tla u skladu sa standardom HRN EN ISO 12944 prikazane su u tablici 3.

Tablica 3. Kategorije vode i tla u skladu sa standardom HRN EN ISO 12944<sup>9</sup>

Kategorija koroziivnosti	Okoliš	Primjer okoliša i konstrukcija
<b>Im1</b>	Slatka voda	Instalacije na rijekama, hidroelektrane
<b>Im2</b>	Morska ili boćata voda	Morske luke sa sljedećom opremom: vrata ustave, brane, podesti iznad vode, gatovi, konstrukcije na pučini
<b>Im3</b>	Tlo	Podzemni spremnici, čelični podesti, cjevovodi

- Vrsta površine koju treba zaštititi

Sustav premaza odabire se s obzirom na konstrukcijski materijal. Kao konstrukcijski materijal uglavnom se koriste čelik, toplo-pocinčani čelik, metalizirani čelik, aluminij ili nehrđajući čelik. Priprema površine, premazni materijali koji se koriste (naročito temelj) i ukupna debljina filma uglavnom će ovisiti o konstrukcijskim materijalima kojima je potrebna zaštita.

- Trajnost sustava premaza

Standard HRN EN ISO 12944-1 daje vremenske okvire kojima se određuje trajnost od trenutka prvog nanošenja do prvog održavanja. Sustav zaštite s obzirom na trajnost prikazan je u tablici 4.

Tablica 4. Trajnost premaznih sustava prema HRN EN ISO 12944-1<sup>9</sup>

Trajnost premaznih sustava prema HRN EN ISO 12944-1	
<b>Niska (L)</b>	do 7 godina
<b>Srednja (M)</b>	7 do 15 godina
<b>Visoka (H)</b>	od 15 do 25 godina
<b>Vrlo visoka (VH)</b>	više od 25 godina

- Planiranje postupka nanošenja boje

Dinamika izgradnje i različite faze gradnje kod svakog projekta određuju kako i kada je potrebno nanositi sustav premaza. Potrebno je obratiti pažnju na materijale u fazi

prije izgradnje, kada se sastavni dijelovi izrađuju izvan mjesta izvođenja radova i na gradilištu kad su faze izgradnje završene. Potrebno je planirati posao kako bi se moglo voditi računa o pripremi površine te vremenu sušenja/otvrdnjavanja u odnosu na vrijednosti temperature i vlažnost zraka. Nadalje, ukoliko se jedna faza izgradnje vrši u zaštićenom okolišu radionice, a sljedeća faza se vrši na gradilištu, potrebno je uzeti u obzir vrijeme za međupremazni interval.

#### **1.2.1.5. Stanje metalne površine prije nanošenja premaza**

Kako bi se osigurala dugoročna zaštita sustavom premaza važno je izvršiti odgovarajuću pripremu površine prije nanošenja premaza. Iz tog razloga potrebno je ocijeniti početno stanje na čeliku. Općenito govoreći, stanje čelične površine prije bojenja može se podijeliti u sljedeće tri kategorije:<sup>9</sup>

- a) konstrukcija od golog čelika na koji prethodno nije nanesen nikakav zaštitni premaz
- b) čelična površina zaštićena radioničkim temeljem shopprimerom
- c) čelična površina zaštićena sustavom premaza koji ima potrebu za održavanjem.

a) Čelične površine koje nikada nisu bile zaštićene premazom mogu do različitog stupnja biti pokrivene hrđom, okujinom ili ostalim onečišćenjima (prašina, masnoće, onečišćenja ionima/topivim solima, ostacima itd.). Početno stanje takvih površina definirano je standardom ISO 8501-1: „Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda – Vizualna procjena čistoće površine.” Standard ISO 8501-1 identificira 4 početna stanja na čeliku: A, B, C i D kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Početna stanja na čeliku: A, B, C i D identificirana standardom ISO 8501-1.<sup>9</sup>

b) Tehnologija gradnje čeličnih konstrukcija se sastoji od niza operacija i traje određeno vremensko razdoblje u kojem je materijal izložen korozijskom djelovanju okoline. Nezaštićeni dijelovi konstrukcije kroz to vrijeme mogu korodirati što uzrokuje znatno povećanje troškova pripreme površine kao i izrade cijele konstrukcije. To je razlog za uporabu privremene radioničke zaštite tzv. shopprimera koji imaju svojstvo osiguravanja privremene zaštite od korozije za vrijeme gradnje konstrukcije do nanošenja projektiranog sustava premaza. Čelični limovi i konstrukcijske komponente zaštićene radioničkim temeljem mogu se zavarivati.

Posebni zahtjevi za shopprimere su sljedeći:

- pružanje zaštite od korozije tijekom gradnje
- vrijeme sušenja mora biti kratko
- ne smiju negativno utjecati na brzinu rezanja i zavarivanja
- ne smiju stvarati štetne ili otrovne pare za vrijeme rezanja ili zavarivanja
- ne smiju negativno utjecati na svojstvo zavarenog spoja
- moraju izdržati grubo rukovanje
- moraju tvoriti bazu pogodnu za sve vrste premaznih sredstava.

Debljina filma radioničkog temelja u pravilu iznosi 20 - 25  $\mu\text{m}$  (ti podaci su dati za glatku ispitnu ploču). Prevelika debljina filma može imati negativan utjecaj na brzinu i kvalitetu reza i zavara. Svaki tip shopprimera ima svoje prednosti i nedostatke, koje

je potrebno vrednovati pa tek onda odabrati onaj koji će najbolje udovoljiti namjeni, a biti ekonomski prihvatljiv. U cilju olakšavanja izbora priložena je tablica 5 na osnovu koje se može lako odabrati shopprimer, no nisu obuhvaćena svojstva zavarljivosti jer se ona razlikuju pojedinačno za svaku vrstu shopprimera.

Tablica 5. Vrste shopprimera <sup>6</sup>

Svojstva	VRSTE SHOPPRIMERA			
	Cink-epoksi	Cink-silikatni	Epoksi željezni oksid	PVB (polivinil butiral)
<b>Pakiranje</b>	Dvokomponentno	Dvokomponentno	Dvokomponentno	Jednokomponentno
<b>Otapalo, razrjeđivač</b>	Esteri, ketoni, aromati	Voda, alkohol	Esteri, ketoni, aromati	Alkoholi, ketoni
<b>DSF (μm)</b>	12-20	12-20	20-25	15-25
<b>Antikorozivna svojstva</b>	Vrlo dobra	Odlična	Vrlo dobra	Dobra
<b>Utjecaj na zdravlje</b>	Pojava cinkove groznice	Pojava cinkove groznice	Neznatan	Neznatan

c) Ukoliko je čelična površina zaštićena sustavom premaza koji ima potrebu za održavanjem potrebno je procijeniti stanje postojećeg sustava premaza upotrebom stupnja degradacije u skladu sa standardom. Pri tome je potrebno utvrditi da li je sustav potrebno odstraniti kompletno ili neki premazi smiju ostati. Za različit opseg potrebne pripreme površine koristi se standard HRN EN ISO 8501-1:2007, Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda -- Vizualna procjena čistoće površine -- 1. dio: Stupnjevi hrđanja i stupnjevi pripreme nezaštićenih čeličnih površina i čeličnih površina nakon potpunog uklanjanja prethodnih prevlaka (ISO 8501-1:2007; EN ISO 8501-1:2007) i HRN EN ISO 8501-2:2006, Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda -- Vizualna procjena čistoće površine -- 2. dio: Stupnjevi pripreme prethodno zaštićenih čeličnih površina nakon mjestimičnog uklanjanja prethodnih prevlaka (ISO 8501-2:1994; EN ISO 8501-2:2001).<sup>9</sup>

### 1.2.1.6. Priprema metalne površine za nanošenje premaza

Priprema površine je najvažniji dio svakog postupka nanošenja premaza kako bi se postiglo čvršće prijanjanje premaza. Nekvalitetna priprema površine rezultira nekvalitetnom prevlakom, koja slabo prijanja i lako se skida s površine. Priprema podloge obuhvaća čišćenje i kondicioniranje, jer površina koja se štiti mora biti čista i točno definirane hrapavosti kako bi se uspostavila dobra prionjivost premaza. Čišćenjem se s podloge uklanjaju onečišćenja kao što su masnoće, soli, korozijski produkti, oštećene prevlake, prašina, čađa, pepeo itd. Kondicioniranjem se osigurava poželjna kakvoća površine podloge, tj. tražena hrapavost, odnosno glatkoća. Nečistoće se uklanjaju kombinacijom različitih postupaka ovisno o vrsti konstrukcijskog materijala, uvjetima izloženosti okolišu, stupnju onečišćenja, vrsti prevlake i sl.

Za kvalitetnu predobradu podloge redovito je potrebno nekoliko operacija. Njihov izbor i redosljed ovisi o vrsti osnovnog materijala, o prethodnom stanju njegove površine i o stanju koje treba postići. Predobrada obično uključuje operacije odmašćivanja te mehaničke i kemijske pripreme podloge.<sup>6</sup>

**Odmašćivanje** služi za uklanjanje mineralne i biološke masne tvari s površine metala, kako bi premaz dobro prijanjao na metalnu površinu. Odmašćivanje se gotovo uvijek provodi kao dio pripreme površina za premazivanje u brodogradnji, jer se limovi u proizvodnom procesu zamaste prilikom skladištenja, rezanja, oblikovanja i spajanja. Postupci odmašćivanja su:<sup>10</sup>

- pomoću organskih otapala – najčešće se koriste derivati nafte (benzin, petrolej), koji spadaju u zapaljiva otapala i halogenirani ugljikovodici kao nezapaljiva otapala, ali su toksični. Za odmašćivanje koriste se i razrjeđivači, koji su smjesa hlapivih organskih kapljevina (ugljikovodika, estera, ketona i alkohola), a na ovaj način najčešće se uklanjaju lokalne masnoće trljanjem natopljenom tkaninom.
- pomoću lužnatih otopina – provodi se u uređajima za odmašćivanje prskanjem vrućom lužnatom otopinom, kao i upotrebom industrijskih deterdženata. Upotrebom deterdženata odmašćuju se veće površine, najčešće špricanjem deterdženta uz obvezno ispiranje mlazom vode. Aluminijski i cink i njihove legure ne smiju se odmašćivati u lužnatim otopinama jer se otapaju.

- elektrokemijsko odmašćivanje – može biti katodno, anodno ili kombinirano. Nema značaja za primjenu u brodogradnji.
- odmašćivanje ultrazvukom – najčešće se koristi za fino odmašćivanje sitnih predmeta. Nema značaja za primjenu u brodogradnji.

**Mehaničkom pripremom površine** uklanjaju se okujina, korozijski produkti i nemasna onečišćenja, a također se postiže i određeni stupanj i oblik hrapavosti površine.

- Ručno mehaničko čišćenje izvodi se upotrebom ručnih alata: žičane četke, strugala, abrazivnim papirom ili platnom. Zbog male učinkovitosti ova metoda se uglavnom koristi kod čišćenja manjih površina i teže dostupnih mjesta, gdje nije moguće izvoditi strojno čišćenje.
- Strojno mehaničko čišćenje izvodi se upotrebom pneumatskog i električnog alata: rotacijskim žičanim četkama, rotacijskim brusnim pločama ili trakama i igličarima/pikamerima. U brodogradnji se koristi za pripremu već opremljenih brodskih pozicija, koje nije moguće pjeskariti abrazivom, kako se ne bi zaprašili ili oštetili strojevi i uređaji
- Obrada u bubnjevima se provodi za sitne predmete (neosjetljive na udar) koji se masovno proizvode uz rotiranje s abrazivom (kvarcni pijesak, u novije vrijeme uglavnom korund i sl.).
- Hidrodinamičko čišćenje ili „vodeno pjeskarenje“ koristi mlaz vode pod tlakom od 700 do 1700 bara za čišćenje površine metala od hrđe ili starih premaza. Ova metoda se malo koristi kod pripreme površine u brodogradnji, jer nije moguće postići potrebnu hrapavost površine. Nedostatak ove metode je i korodiranje obrađene površine pa se u vodu dodaju inhibitori kako bi se spriječilo nastajanje korozije. U brodogradnji su strogi zahtjevi i standardi za pripremu površine pa ova tehnika nije zaživjela, ali ima veliki potencijal za određene pozicije obzirom da gotovo i nema krutog otpada u odnosu na velike količine kod pjeskarenja abrazivima.
- Čišćenje mlazom abraziva ili „pjeskarenje“ je najčešće korištena i najučinkovitija metoda pripreme površine, koja koristi energiju abraziva pod tlakom zraka. Upotrebljavaju se čestice različitih veličina, oblika i vrsta abraziva ovisno o vrsti obrađivanog materijala i željenoj hrapavosti površine.



Vrsta, oblik i veličina abraziva opisani su međunarodnim normama ISO 11124 – ISO 11127. Za obradu mlazom abraziva koriste se: čestice od kvarcnog pijeska, zrnca elektrokorunda i silicijeva, borova te volframova karbida, sačma od ugljičnog ili nehrđajućeg čelika, bijelog ili kovkastog lijeva, valjčići dobiveni sjeckanjem hladno vučene čelične žice i dr. U početku se uglavnom koristio kvarcni pijesak ( $\text{SiO}_2$ ) kao abraziv (odatle i naziv „pjeskarenje“ za ovaj način pripreme površine), ali uglavnom se izbacio iz upotrebe zbog štetnog djelovanja na zdravlje radnika kod izloženosti sitnoj prašini, nastaloj kod izvođenja radova. Utvrđeno je da dugotrajno udisanje sitnih čestica kvarca može uzrokovati trajna oštećenja pluća, bolest poznatu kao silikoza. Kod izbora abraziva potrebno je paziti da ne sadrže nedozvoljene količine toksičnih elemenata poput arsena (As), berilija (Be), kadmija (Cd), kroma (Cr), olova (Pb), mangana (Mn), nikla (Ni), titanija (Ti) i vanadija (V).<sup>11</sup> Radnici kod izvođenja ovih radova obavezni su nositi maske (skafandere) s dovodom svježeg zraka i zaštitnu odjeću i obuću. Razvijanje prašine može se smanjiti primjenom različitih postupaka kao što je:

- Vlažni ili mokri postupak (engl. *Wet Abrasive Blastin*) gdje se uz korištenje klasičnih dizni za suho pjeskarenje koriste i posebni dodaci gdje se pod tlakom raspršuje voda stvarajući vodenu zavjesu i na taj način može se smanjiti količina nastale prašine za 50 do 75 % u odnosu na suho pjeskarenje. U vodu se dodaju inhibitori kako bi se spriječilo korodiranje površine. Mokri postupak uglavnom se primjenjuje za finiju obradu pa se često primjenjuje na predmetima koji su grubo obrađeni suhim postupkom. Mogu se dodati i aditivi koji vežu teške metale koji su sadržani u korištenom abrazivu.

U tablici 6 dan je prikaz pripreme površine po ISO standardu.<sup>9</sup>

Tablica 6. Priprema površine prema ISO 8501-1

<b>Priprema površine mlazom abraziva</b>		
<b>Oznaka</b>	<b>Naziv-pojam</b>	<b>Definicija</b>
<b>Sa 1</b>	Lagano čišćenje mlazom abraziva	Površina mora biti čista bez vidljivih tragova ulja, masti, prljavštine i od slabo prijanjajuće okujine, hrđe, premaza i stranih nečistoća.
<b>Sa 2</b>	Temeljito čišćenje mlazom abraziva	Površina mora biti čista bez vidljivih tragova ulja, masti, prljavštine i od slabo prijanjajuće okujine, hrđe, premaza i stranih nečistoća. Svi preostali ostaci moraju čvrsto prijanjati.
<b>Sa 2<sup>1/2</sup></b>	Vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva	Površina mora biti čista bez vidljivih tragova ulja, masti, prljavštine i od slabo prijanjajuće okujine, hrđe, premaza i stranih nečistoća, tako da možda preostali tragovi mogu izgledati kao blage mrlje ili sjene.
<b>Sa 3</b>	Čišćenje mlazom abraziva, do odstranjivanja svih nečistoća čelika	Površina mora biti čista bez vidljivih tragova ulja, masti, prljavštine i od slabo prijanjajuće okujine, hrđe, premaza i stranih nečistoća. Mora biti jednoličnog metalnog izgleda.
<b>Priprema površine ručnim uklanjanjem hrđe</b>		
<b>St 3</b>	Ručno uklanjanje hrđe	Površina mora biti čista bez vidljivih tragova ulja, masti, prljavštine, bez slabo prijanjajuće okujine, hrđe, premaza i stranih onečišćenja, tako da pokazuje slabi metalni sjaj.

Razina korozije, stupnjeve pripreme nezaštićenih čeličnih podloga i čeličnih podloga nakon kompletnog odstranjenja prethodnih premaza prikazan je na slici 3.



Slika 3. Odstupajuće slike prikazuju razinu korozije, stupnjeve pripreme nezaštićenih čeličnih podloga i čeličnih podloga nakon potpunog odstranjenja prethodnih premaza.<sup>9</sup>

### 1.2.1.7. Nanošenje organskih premaza

Izbor odgovarajuće metode za nanošenje premaza ovisi o vrsti premaza, željenoj debljini nanošenja premaza, veličini i dostupnosti površine na koju se nanosi premaz i sl. Metode nanošenja premaza su:<sup>10</sup>

- Premazivanje ručnim alatom (četkom, valjkom, kistom) – primjenjuje se uglavnom u slučajevima bojanja manjih površina i nezamjenjiva je metoda za bojanje rubova i kutova i drugih teže dostupnih mjesta na koja nije moguće nanijeti premaz špricanjem, te kod popravaka manjih oštećenja na premazu. Na ovaj način nanose se manje, neujednačene debljine premaza do cca 50  $\mu\text{m}$ .
- Nanošenje premaza raspršivanjem (prskanjem, štrcanjem, špricanjem) – može se obavljati komprimiranim zrakom, bezzračnim ili elektrostatičkim postupkom. Osnovna metoda nanošenja premaza u brodogradnji je bezzračno špricanje. Ovom metodom boja se raspršuje na štíćenu površinu pomoću specijalnih pištolja, potiskivana pumpama za boju pod velikim tlakovima od 80 do 250 bara. Na ovaj način dobiju se deblji ujednačeni premazi i učinkovitost je daleko veća nego kod ručnih alata. Ovim načinom rada veći su gubici premaza uslijed raspršivanja izvan površine nanošenja, pa tako mogu iznositi od 30 do 50 % upotrebijene boje, ovisno o uvjetima nanošenja (vjetar, složenost konstrukcije), a čak i do 70 % kod izrazito složenih konstrukcija (ljestve, rešetkaste podnice i sl.).

- Elektrostatičko raspršivanje - na vrhu mlaznice pištolja nalazi se vrlo tanka elektroda koja se nalazi u sredini lepeze raspršenog premaza. Elektroda je pod naponom od 30 kV do 150 kV. Raspršeni premaz pri prolazu preko elektrode se elektrostatički nabija. Predmet na koji se aplicira nabijeni premaz mora biti uzemljen i tako dolazi do razlike potencijala, što rezultira privlačenjem premaza na predmet. Ovaj efekt ostvaruje velike uštede u premazu, osobito kod premazivanja okruglih i profilnih predmeta. Nema veće primjene u brodogradnji.
- Uranjanje se primjenjuje kod bojanja velikog broja sitnih predmeta (obujmice, nosači i sl.). Kvaliteta nanesenog premaza ovisit će kako o pripremi površine premaza, tako i o uvjetima za vrijeme i nakon nanošenja premaza (temperatura zraka, temperatura površine i vlaga u zraku).

#### 1.2.1.8. Vrste premaza za zaštitu čeličnih brodskih konstrukcija

U nastavku će se razmotriti različite vrste premaza počevši sa shopprimer premazima, te opisati neke vrste premaza koje se suše fizikalnim, kemijskim i oksidacijskim procesima.

##### **Shopprimeri**

Čelični profili, ploče i cijevi se nakon odmaščivanja čiste mlazom abraziva (pjeskarenjem) u velikim halama i čeličanama te se na njih nanosi tanki sloj shopprimera debljine 15-20  $\mu\text{m}$  koji služi kao antikorozivna zaštita do daljnjeg transporta, obrade i korištenja materijala. Najpoznatiji su shopprimeri na bazi željeznih oksida i zink-bogati shopprimeri. Kao što je već spomenuto shopprimeri ne smiju utjecati na zavarljivost i rezljivost materijala. Ako utječu trebaju se ukloniti mlazom abraziva na S 2<sup>1/2</sup> stupanj čistoće površine prije nanošenja novog sustava boja. Željezni oksid shopprimeri koriste polivinil butiral (PVB) ili epoksi veziva te su najčešće crvene ili žute boje. Oni mogu štiti čelik otprilike 6 mjeseci od korozije. Cink bogati shopprimeri se proizvode sa epoksi ili etil silikatnim vezivima te za razliku od prethodno navedenih shopprimera dulje štite čelik od korozije.

### **Premazi sušeni fizikalnim procesima**

Ovi premazi se suše prilikom isparavanja otapala te se ovdje ne događa nikakva kemijska reakcija. Isparavanje otapala je niže pri nižim temperaturama, ali se ne zaustavlja uz prihvatljive uvjete bez leda na površini. Ovi premazi su reverzibilni što znači da prilikom nanošenja novog sloja premaza na stari događa se „otapanje“ donjeg sloja te se samim time premazi dodatno stapaju što rezultira dobrom adhezijom slojeva. No također prije nanošenja novog sloja na stari potrebno je dobro odmastiti površinu. Jedna vrsta ovih premaza su klorirane gumene boje koji se mogu sintetizirati ili proizvesti reakcijom između prirodne gume i klora. Sadrže plastifikatore koji sa vezivima daju dobra mehanička svojstva. Blisko srodni s navedenim premazima su vinilni premazi čije se vezivo sintetizira i sastoji se od različitih kopolimera sa polivinil kloridom (PVC). Obe vrste su topljive u aromatskim ugljikovodicima, esterima i njima sličnim otapalima. U ovu skupinu ubrajaju se još i akrilni, vodeni, bituminozni i premazi na bazi katrana.

### **Premazi sušeni kisikom iz zraka**

Neka veziva mogu reagirati sa kisikom iz zraka i tako se osušiti u tvrdi film. Ova pojava se može opisati kao kemijsko zacjeljivanje boje (engl. *curing*). Vezivo mora biti na bazi sušućih ulja kao što je laneno ulje. Laneno ulje sadrži nezasićene masne kiseline koje imaju tendenciju vezanja kisika iz zraka, reagiraju s njima te tako tvore mrežu od nekoliko lanaca masnih kiselina. Nakon nanošenja premaza prije kemijske reakcije prvo se događa proces isparavanja otapala. Na brzinu sušenja utječu niska temperatura, previsoka i preniska vlažnost zraka te da bi se ubrzao proces sušenja dodaju se agensi za sušenje. Alkidni premazi su predstavnici ove skupine i dobivaju se reakcijom između kiseline, alkohola i ulja zagrijavanjem u velikim reaktorima. Ovi premazi su često modificirani dodatkom veziva (klorirana guma, vinil, silikon itd.) koji premazu mijenjaju svojstva. Ovakvi premazi se koriste u sredinama gdje korozivni uvjeti nisu pre agresivni i gdje površina nije pretjerano izložena doticaju s vodom. Valja još nabrojiti uretan alkidne, silikonske te epoksi-ester premaze.

### **Premazi sušeni kemijskim procesima**

Ovi premazi su zapravo dvokomponenti sustavi koji se sastoje od baze i sredstva za sušenje. Prije nanošenja ove dvije komponente se moraju izmiješati u točno određenim omjerima sa mehaničkim mješalima radi što bolje homogenosti. Greške se mogu javiti

ako komponente nisu dobro izmiješane ili ako omjeri nisu točni. Nakon miješanja komponenti nastupa kemijska reakcija koja je u funkciji temperature i brža je pri povišenim temperaturama. Tako se vrijeme trajanja premaza nakon miješanja znatno skraćuje s povišenjem temperature. Kako se boja suši, odnsono kako se događa kemijska reakcija stvara se trodimenzionalni, netopljivi film koji je čvrst i otporan prema kemikalijama, kiselinama i alkalijama. Jedan od glavnih predstavnike ove grupe jesu epoksi premazi koji tvore vrlo jak, tvrd film i otporni su prema mnogim vanjskim utjecajima. Ovi premazi se koriste u agresivnim i kemijski zagađenim sredinama te u manje zagađenim sredinama kao dugotrajno rješenje. Otporni su prema većini otapala, prema kiselinama i lužinama no izloženi vanjskim utjecajima imaju tendenciju kredanja stoga se preko njih može nanijeti poliuretanski premaz koji je otporniji prema vanjskim utjecajima. U ovu skupinu premaza spadaju još ugljen-katran epoksi premazi, poliuretan premazi, epoksi premazi bez otapala itd.

### 1.3. OTPAD

Otpad je svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. Po mjestu nastanka, razlikuju se više vrsta otpada: komunalni otpad, proizvodni otpad, ambalažni otpad, otpad iz rudarstva i eksploatacije mineralnih sirovina, otpadni električki i elektronički uređaji i oprema, vozila kojima je istekao vijek trajanja, otpadne gume, građevinski otpad, infektivni otpad iz zdravstvenih ustanova, otpadna ulja, mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, itd.<sup>11</sup>

#### 1.3.1. Vrste otpada u procesima pripreme površina i nanošenja premaza

U procesima pripreme površina i nanošenja premaza nastaju različite vrste otpada kao što su:

- korišteni, neupotrebljivi kontaminirani abraziv (prašina)
- neupotrebljiva boja, muljevi (ostaci)
- otpadna organska otapala/razrjeđivači (ostatak nakon recikliranja)
- ambalaža onečišćena bojom (s ostacima boje)
- različiti otpad onečišćen bojom (krpe, kistovi, valjci, filtri, zaštitna odjeća i dr.).

Nastali otpad dijeli se na opasni i neopasni otpad, temeljem Uredbe o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada (NN 50/05 NN 39/09), koji je usklađen s europskim popisom otpada (*European List of Waste*).

1. Opasni - otpad koji posjeduje jedno ili više opasnih svojstava određenih Dodatkom III. Zakona o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13).
2. Neopasni – otpad koji ne posjeduje niti jedno od opasnih svojstava određenih Dodatkom III. Zakona o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13).

Katalogom otpada određuju se ključni brojevi za sav opasni i neopasni otpad. Vrste otpada u Katalogu otpada označene su šesteroznamenkastim ključnim brojevima, a opasni otpad nosi oznaku zvjezdice. Uvođenje ispravnog i dosljednog korištenja ključnih brojeva iz Kataloga otpada ima svrhu unaprijediti kvalitetu podataka koje,

u skladu s brojnim obvezama izvješćivanja, moraju osigurati proizvođači otpada ili tvrtke koje gospodare otpadom.

### 1.3.2. Gospodarenje otpadom

Gospodarenje otpadom temelji se na sljedećim načelima:<sup>12</sup>

1. "načelo onečišćivač plaća" – proizvođač otpada, prethodni posjednik otpada, odnosno posjednik otpada snosi troškove mjera gospodarenja otpadom, te je financijski odgovoran za provedbu sanacijskih mjera zbog štete koju je prouzročio ili bi je mogao prouzročiti otpad,
2. "načelo blizine" – obrada otpada mora se obavljati u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš,
3. "načelo samodostatnosti" – gospodarenje otpadom će se obavljati na samodostatan način omogućavajući neovisno ostvarivanje propisanih ciljeva na razini države, a uzimajući pri tom u obzir zemljopisne okolnosti ili potrebu za posebnim građevinama za posebne kategorije otpada i
4. "načelo sljedivosti" – utvrđivanje porijekla otpada s obzirom na proizvod, ambalažu i proizvođača tog proizvoda kao i posjed tog otpada uključujući i obradu.

U svrhu sprječavanja nastanka otpada te primjene propisa i politike gospodarenja otpadom primjenjuje se red prvenstva gospodarenja otpadom, i to:

- sprječavanje nastanka otpada,
- priprema za ponovnu uporabu,
- drugi postupci uporabe npr. energetska uporaba i
- zbrinjavanje otpada.

Otpad je, prema vrsti, moguće odbaciti u za to odgovarajuće spremnike u rećiklažna dvorišta. Osoba koja upravlja rećiklažnim dvorištem dužna je zaprimati otpad propisan Dodatkom III i otpad propisan posebnim propisom koji uređuje gospodarenje posebnom kategorijom otpada.



### 1.3.3. Dokumentacija o otpadu

Za otpad koji je proizveden proizvodnim procesima i/ili drugim poslovnim aktivnostima u brodogradilištu Brodosplit odgovorne osobe moraju voditi evidenciju na obrascu Očevidnik o nastanku i tijeku otpada (ONTO) koji je propisan Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 23/07). Prilikom svakog predavanja otpada ovlaštenom skupljaču na zbrinjavanje, odgovorna osoba za vođenje očevidnika izdaje Prateći list, (Prateći list za neopasni / inertni otpad (obrazac PL–No/Io) ili Prateći list opasnog otpada (obrazac PL–Oo)). Prateći list ispunjava se u šest primjeraka različitih boja: <sup>10</sup>

1. (bijeli) osoba za obradu/oporabu/zbrinjavanje šalje u AZO
2. (crveni) zadržava osoba za obradu/oporabu/zbrinjavanje
3. (plavi) osoba za obradu/oporabu/zbrinjavanje vraća proizvođaču/posjedniku
4. (zeleni) osoba za obradu/oporabu/zbrinjavanje zadržava nakon potpisa
5. (žuti) nakon potpisa osobe za obradu/oporabu/zbrinjavanje zadržava prevoznik ili posrednik
6. (bijeli) s potpisom skupljača/prijevoznika/posrednika zadržava proizvođač/posjednik otpada

Prateći list opasnog otpada sadrži podatke o tijeku otpada i njime se dokazuje da je opasan otpad zbrinut na propisan način od strane ovlaštene pravne osobe za gospodarenje opasnim otpadom. Za opasni otpad kada je godišnja količina veća od jedne tone potrebno je pratećem listu priložiti Izvješće o fizikalnim i kemijskim svojstvima otpada ne starije od godine dana, izdano od akreditiranog laboratorija. Ako je količina opasnog otpada manja od jedne tone na godišnjoj razini, ili kod opasnog otpada kojem nije moguće uzeti prosječan uzorak, osoba odgovorna za vođenje očevidnika mora uz pošiljku i Prateći list skupljaču predati popunjenu i ovjerenu Deklaraciju o fizikalnim i kemijskim svojstvima otpada na obrascu DFKSO propisanom Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 23/07). Kako se u brodogradilištu koriste uglavnom iste vrste boja, poznatog sastava, uz Prateći list za opasni otpad prilaže se Deklaracija, bez izrade Izvješća o fizikalnim i kemijskim svojstvima otpada.

## 1.4. ŠTETNE EMISIJE HLAPIVIH ORGANSKIH SPOJEVA U ZRAK I ZAKONSKE REGULATIVE

Premaz je bilo koji pripravak, uključujući sva organska otapala ili pripravke koji sadrže organska otapala potrebna za njegovo pravilno nanošenje, koji se nanosi na površinu u dekorativne, zaštitne ili druge funkcionalne svrhe (NN 87/17).<sup>14</sup> Na temelju članka 39. Zakona o zaštiti zraka (NN 130/11, 47/4, 61/17), Vlada RH je na sjednici 2017. godine donijela Uredbu o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. Ovom se Uredbom propisuju granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, praćenje i vrednovanje emisija, upis podataka o nepokretnim izvorima u kojima se koriste organska otapala ili proizvodi koji sadrže hlapive organske spojeve u registar REGVOC, način smanjivanja emisija onečišćujućih tvari u zrak, način i rok dostave izvješća o emisijama Hrvatskoj agenciji za okoliš i prirodu, način obavještavanja javnosti, način dostave podataka nadležnim tijelima Europske unije te razina dopuštenog prekoračenja graničnih vrijednosti za postojeće izvore, za određeno razdoblje.

Također, Hrvatska agencija za okoliš i prirodu je sukladno Zakonu o zaštiti zraka (NN 130/11), Uredbi o graničnim vrijednostima emisija (GVE) onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 117/12, 90/14) te Uredbi o graničnim vrijednostima sadržaja hlapivih organskih spojeva u određenim bojama i lakovima koji se koriste u graditeljstvu i proizvodima za završnu obradu vozila (NN 69/13), razvila novu aplikaciju/sustav "Hlapivi organski spojevi" (HOS).

Nova aplikacija objedinjava dosadašnje baze podataka "Hlapivi organski spojevi u bojama i lakovima" i "Emisije hlapivih organskih spojeva" te je na taj način obveznicima iz navedenih Uredbi osiguran samostalni elektronički unos i dostava podataka, a ujedno je korisnicima osiguran jednostavniji pristup i pregled informacija.

### 1.4.1. Program smanjivanja emisija HOS-a

Sukladno članku 76. Uredbe GVE, aktivnosti procesa bojanja u brodogradilištu spadaju pod točku 3. "procesu premazivanja" (nanošenje metalnih i plastičnih premaza na: putničke automobile, kamionske kabine, kamione, autobuse ili drvene površine i obuhvaća sve procese u kojima se jednokratno ili višekratno nanose slojevi premaza

na: – ostale metalne i plastične površine, uključujući zrakoplove, brodove, vlakove i drugo). Ovom uredbom propisane su granične vrijednosti emisija HOS-a (prikazane u tablici 7) u otpadnim plinovima za različite aktivnosti, pa tako i za procese premazivanja.

Tablica 7. Granične vrijednosti HOS-a kod procesa premazivanja<sup>13</sup>

Aktivnost (prag potrošnje otapala u t/god)	Donja granična vrijednost potrošnje otapala (t/god.)	Granična vrijednost emisije u otpadnim plinovima (mg C/m <sup>3</sup> ) <sup>e/</sup>	Granična vrijednost fugitivnih emisija HOS-a (% unosa otapala)
Nova i postojeća postrojenja: ostalo premazivanje, uključujući metal, plastiku, tekstil, tkanine, foliju i papir (>5 t/god.)	5 – 15	100 <sup>a/</sup>	25 <sup>a/</sup>
	> 15	50/75 <sup>a/b/</sup>	20 <sup>a/</sup>

*a/ Ako za premazivanje nije moguće postići kontrolirane uvjete (izgradnja brodova, premazivanje zrakoplova itd.), postrojenje može biti izuzeto od obveze poštivanja ovih vrijednosti te se mora postupiti prema programu smanjivanja emisija*

*b/ Prva se vrijednost odnosi na procese sušenja, druga na proces nanošenja premaza.*

*c/ GVE u otpadnim plinovima na ispuštu, izraženo kao ukupni organski ugljik (C)*

Kada u postrojenju nije moguće postići kontrolirane uvjete (prikupljanje i obradbu otpadnih plinova), izuzeto je iz poštivanja gore navedenih graničnih emisija i potrebno je postupati prema programu smanjivanja emisija.

#### 1.4.2. Program smanjivanja emisija

Posebni zahtjevi mogu se primjeniti kod procesa u kojima nije moguće ostvariti kontrolirane uvjete (npr. kod premazivanja brodova i zrakoplova), tada postrojenje može biti izuzeto od poštivanja graničnih vrijednosti emisija iz Tablice 7., te se mora postupati prema programu smanjivanja, čija je izrada propisana Uredbom GVE. Antikorozivna zaštita brodskih površina i opreme, spada u procese u kojima je teško provesti kontrolirane uvjete emisija hlapivih organskih spojeva u otpadnim plinovima,

stoga je u planu smanjivanja potrebno prikazati metode kojima se namjerava postići vrijednosti emisija manje od izračunate ciljne emisije. Zbog izrazito visokih nabavnih i uporabnih troškova sustava za prikupljanje i pročišćavanje ispušnog plina (vrijednost u milijunima €), nije realno očekivati da se ugradnjom takvih sustava postignu ciljne emisije. Program smanjivanja provodi se, uglavnom, korištenjem primarnih mjera:

- povećanjem tehnološke discipline – prosječan utrošak razrjeđivača u brodogradilištu iznosi 20 % od utrošene količine boje. Za razrjeđivanje boje utroši se cca 40 % od ukupno utrošene količine razrjeđivača, a preostalih 60 % koristi se za čišćenje/odmašćivanje površina prije bojanja, te za pranje alata i uređaja nakon bojanja. Edukacijom, nadzorom i kontrolom mogu se uštedjeti znatne količine utrošenog razrjeđivača. Potrebno je čistiti opremu odmah nakon upotrebe, koristiti isti razrjeđivač za pranje do zasićenja bojom, raditi sa što manje uređaja na način da se uvijek bojaju veće površine ili više manjih, držati razrjeđivač uvijek u zatvorenim kantama i obučavati radnike o postupku čišćenja alata i uređaja. Spriječavati pojave nekontroliranog prolijevanja razrjeđivača, a prikupljeni korišteni razrjeđivač moguće je podvrgnuti destilaciji, ukoliko postoji uređaj za destilaciju.
- korištenjem premaza s većom količinom suhe tvari – premazi s visokim udjelom suhe tvari su one koje sadrže HOS-a 275 – 420 g/l.<sup>14</sup> Kod odabira premaza za sustav premaza zaštite broda od korozije moguća su ograničenja zbog zahtjeva kupca broda ili ponude materijala na tržištu. Obzirom na trendove za smanjivanjem HOS-a i proizvođači premaza su angažirani na njihovom smanjivanju, kod razvoja novih proizvoda. U bliskoj budućnosti realno su male šanse daljnjeg većeg smanjivanja HOS-a u premazima za brodograđevnu industriju jer već danas se koriste premazi sa niskim udjelom hlapivih organskih spojeva.

Velika količina hlapivih organskih spojeva nastaje u primarnoj zaštiti limova i profila, korištenjem radioničkog premaza (shopprimer-a) koji u sebi sadrži HOS-a 620 g/l. Zbog tehničkih karakteristika ovog premaza trenutno ga nije moguće zamijeniti premazima s manjim udjelom HOS-a, pa se koristi u svim svjetskim brodogradilištima. Veliki trud ulaže se u razvoj radioničkog premaza na bazi vode, ali za sada još nema primjera pune primjene u brodograđevnoj industriji. Zamjenom standardnog radioničkog premaza s novo razvijenim na bazi vode odmah bi se postigle vrijednosti emisija manje od ciljne emisije i usklađenost s Uredbom GVE. Zbog tehničkih

nedostataka vodorazrijedivih premaza (dulje vrijeme sušenja, tendencija stvaranja pjene, osjetljivost na visoku vlagu, osjetljivost na temperaturu nanošenja, zahtjevana bolja priprema površine, dodavanje istog ili jačeg otapala moguće će otopiti film i moguća je pojava neadekvatnog kvašenja) ograničena je buduća upotreba tih premaza na zahtjevnim brodskim pozicijama (vanjska oplata, balastni tankovi i sl.). Potrebno je naglasiti da program smanjivanja nije vezan za ograničavanje ukupne potrošnje boje, nego samo na ograničenje udjela otapala (sadržanog u korištenim bojama i upotrijebljenog za razrjeđivanje boje i pranje alata) u odnosu na količinu utrošene krute tvari u bojama.

## 2. EKSPERIMENTALNI DIO

Ekperimentalni dio ovog diplomskog rada odrađen je u postrojenju BIS – Zaštita trupa od korozije d.o.o. Brodograđevne industrije Split u periodu od 15. 6. do 15. 7. 2020. godine. U postrojenju su različitim metodama pripremljene površine čeličnih uzoraka prije nanošenja premaza, ispitana je čistoće površina, nanesen je premaz na metalne testne uzorke, te su ispitana fizikalna, mehanička i antikorozivna svojstva premaza. Sva ispitivanja su provedene prema hrvatskim normativima.

### 2.1. PRIMJENJENI MATERIJALI I APARATURA

Za provedbu eksperimenta korišteni su sljedeći materijali i aparatura:

- 6 čeličnih ploča – lim klase A dimenzija 300 x 300 mm sa cink silikatnim radioničkim premazom
- Brusni papir gradacije C-16
- Zračna brusilica – Atlascopco LSV
- Obični brusni papir gradacije P80
- Visokotlačna zračna pumpa za špricanje i otprašivanje
- Elcometer 142 komplet za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza
- Usporedne pločice (komparator) za određivanje hrapavosti (Elcometer 125 *Surface Comparators*) i mjerni instrument za mjerenje hrapavosti (Elcometer 224 *Digital Surface Profile Gauge*)
- Elcometer 138 Bresle komplet za utvrđivanje soli na površini i konduktometar
- Uređaj za mjerenje meteoroloških parametara Elcometer 319
- Premaz Hempadur 1557/12430 (vol. suhe tvari = 54 %)
- Premaz Hempadur 17634/22090 (vol. suhe tvari = 72 %)
- Premaz Hemplathane Topcoat 55210 /10000 (vol. suhe tvari = 51 %)
- Razrjeđivač Hempel thinner 0845
- Češalj za mjerenje debljine mokrog filma Elcometer *Hexagonal Wet Film Comb*

- Uređaj za mjerenje debljine suhog filma Elcometer 456 *Coating Thickness Gauge*
- Uređaj za mjerenje poroznosti filma Elcometer 270 *Pinhole Detector*
- Slana komora
- Uređaj za određivanje adhezije premaza i potrebne komponente (ispitni čunjići, ljepilo, strugač) PAT model GM04/20kN *Adhesion Tester DFD®*.

## 2.2. METODE RADA

### 2.2.1. Priprema čeličnih podloga prije nanošenja premaza prema normi HRN EN ISO 8504-1:2002

U eksperimentalnom dijelu korišteno je šest testnih čeličnih ploča dimenzija 300 x 300 mm klasificirane kao lim klase A (bez hrđe) na koji je prethodno nanesen cink silikatni radionički premaz. Površine čeličnih ploča pripremljene su na sljedećim metodama:

- ploča 1 – čišćenjem mlazom abraziva (čelični mineralni abraziv – promjer čestica 0,3 - 4 mm) prema normi ISO 8504-2:2000 na stupanj čistoće površine Sa 3 (slika 18)
- ploča 2 – čišćenjem mlazom abraziva (čelični mineralni abraziv – promjer čestica 0,3 - 4 mm) prema normi ISO 8504-2:2000 na stupanj čistoće površine Sa 2.5 (slika 19)
- ploča 3 – ručnim zračnim alatom za brušenje (gradacija brusnog papira C16) prema normi ISO 8504-3:2000 na stupanj čistoće površine St 2 (slika 20)
- ploča 4 – ručnim zračnim alatom za brušenje (gradacija brusnog papira C16) prema normi ISO 8504-3:2000 na stupanj čistoće površine St 3 (slika 21)
- ploča 5 – ručno brusnim papirom gradacije P80 (slika 22)
- ploča 6 – površina šeste ploče je ostavljena nepripremljena te je služila kao usporedna testna čelična ploča (slika 23)

Nakon pripreme površine s čelične ploče 1, 2, 3 i 4 uklonjen je radionički premaz, a na pločama 5 i 6 zaostao je sloj radioničkog premaza.

## 2.2.2. Ispitivanja za procjenu čistoće površine

Prije nanošenja sloja prvog premaza svaka testna ploču je otprašena, a potom i odmašćena. Testne ploče su otprašene visokotlačnom zračnom pumpom, a odmašćene su odgovarajućim razrjeđivačem (Hempel thinner 0845). Nakon provedene pripreme površine ispitivana je čistoća površine, tj. zaprašenosť čeličnih površina, hrapavost površine te sadržaj soli topivih u vodi prema odgovarajućim normama.

### 2.2.2.1. Ocjena zaprašenosťi čeličnih površina pripremljenih za bojenje prema normi HRN EN ISO 8502-3:2004

Količina i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za bojanje određena je uporabom Elcometer 142 kompleta (slika 4). Komplet je korišten u skladu s preporukama HRN EN ISO 8502-3:2004. Na svaku testnu ploču, na tri mjesta, nalijepljena je ljepljiva traka koja je zatim prenesena na predložak te uspoređena s vrijednostima propisanim normom.



Slika 4. Elcometer 142 komplet za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza.

### 2.2.2.2. Mjerenje hrapavosti površine prema normi HRN EN ISO 8503-2:2012

Svojstva hrapavosti površina čeličnih podloga čišćenih mlazom abraziva određena su postupkom s komparatorom Elcometer 125 i uređajem Elcometer 224. Komparator Elcometer 125 je izrađen iz kvalitetnog nehrđajućeg čelika i razdijeljen je na četiri različita stupnja. Vrijednost profila za pojedini stupanj je prikazana u mikrometrima. Stanje površine je procjenjeno usporedbom s komparatorom (slika 5) i donesen je zaključak o stupnju hrapavosti (tablica 8).





Slika 5. Primjer određivanja hrapavosti površine pomoću komparatora

Tablica 8. Stupnjevi stanja površine kod mjerenja usporednim pločicama

Stupanj	Profil
Fini	Jednak segmentu 1 i do, ali isključujući segment 2
Srednji	Jednak segmentu 2 i do, ali isključujući segment 3
Grub	Jednak segmentu 3 i do, ali isključujući segment 4

Za ispitivanje hrapavosti površine korišten je i mjerni instrument Elcometer 224 mjerac profila površine. Ispitivanje stanja površine uporabom ovog instrumenta zasnovano je na fizikalnim načelima snimanja površine. Naime, ispitivanje se provodi pomicanjem igle ticala u pravcu mjerenja. Pomaci igle, koji su proporcionalni neravninama na površini, pretvaraju se u električni signal. Signal se potom u upravljačkoj jedinici pretvara u grafički prikaz na zaslonu s kojeg se mogu iščitavati razni parametri hrapavosti (slika 6).



Slika 6. Primjer određivanja hrapavosti pomoću uređaja

### 2.2.2.3. Određivanje sadržaja soli topljivih u vodi

Za ekstrakciju topljivih soli za analizu korištena je Bresleova metoda prema normi HRN EN ISO 8502-6:2007. Prema navedenoj metodi na testnu ploču se lijepi podložak (Elcometer 135) iz kojeg se uz pomoć šprice isiše zrak, nakon čega se u predložak ušprica određeni volumen (15 ml) destilirane vode poznate provodnosti. Destilirana voda se tri puta izvlači i vraća natrag u podložak (slika 7a). Između svakog vraćanja propisano je da se 25 puta prstom tapka po podlošku radi boljeg kvašenja i otapanja soli u vodi na površini testne ploče. Nakon toga se izvlači destilirana voda koja sadrži soli topljive u vodi koje su prisutne na površini čelika. Sadržaj soli topljivih u vodi određuju se konduktometrijski prema normi HRN EN ISO 8502-9:2004 (slika 7b). Koncentracija soli dobije se preračunavanjem provodnosti pomoću određenih korelacijskih faktora.



Slika 7. (a) Elcometer 138 Bresle komplet za utvrđivanje soli na površini i  
(b) konduktometrijsko određivanje provodnosti.

### 2.2.3. Nanošenje premaza

Nakon predobrade metalne površine slijedilo je nanošenje premaza. Nanošenje premaza na čelične ploče pri određenim meteorološkim parametrima obavljeno je višeslojno uz potpuno sušenje prethodnog sloja premaza pridržavajući se vremena međusušenja. Sustav premaza je nanesen samo na jednu stranu čeličnih ploča, dok je druga strana ostala nezaštićena. Za vrijeme i nakon postupka nanošenja premaza vizualno je pregledana površina testnih čeličnih ploča, mjerena je debljina mokrog filma, zatim je mjerena debljina suhog filma te je ispitivana poroznost premaza.

U svrhu određivanja kvalitete i djelotvornosti sustava premaza provedena su ubrzana laboratorijska ispitivanja korozije u slanoj komori u kojoj su simulirani korozijski utjecaji morske atmosfere. Također, određena je prionjivost premaza.

#### 2.2.3.1. Određivanje meteoroloških parametara

Za mjerenje meteoroloških parametara i pohranu izmjerenih vrijednosti koristio se mjerni uređaj Elcometer 319 (slika 8) prema normi HR ISO 8502-4 koja sadrži smjernice za procjenu mogućnosti kondenzacije prije nanošenja boje. Uz pomoć mjerača izmjerena je relativna vlažnost zraka ( $RH$ , %), temperatura okoline ( $T_s$ , °C), točka (temperatura) rosišta ( $T_d$ , °C) i temperatura površine, tj. kontaktna temperatura ( $T_a$ , °C).



Slika 8. Elcometer 319 mjerač klimatskih uvjeta.

### 2.2.3.2. Nanošenje prvog premaza (Hempadur 1557/12340)

Prvi premaz koji je nanesen na testne čelične ploče bio je Hempadur 1557/12340 (volumni sadržaj suhe tvari 54 %). Hempadur 155707/12340 je dvokomponentni epoksidni premaz koji otvrdnjava pomoću poliamidnog sredstva za otvrdnjavanje. Otvrdnjavanjem prerasta u snažan i jako antikoroziivan premaz, a otvrdnjavanje se odvijalo na temperaturi od 29,3 °C. Proizvod je u crvenkasto-sivoj nijansi 12430 koji sadrži liskunast željezov oksid te je podesan za nanošenje u vlažnim uvjetima, na površinama umjereno pokrivenim vlagom te na onima s malom prisutnošću vlage. Pri određenim mikroklimatskim uvjetima premaz se nanosio bezračnim raspršivačem do debljine mokrog filma od 300 μm (slika 9).



Slika 9. Postupak nanošenja prvog premaza Hempadur 155707/12340.

Tijekom nanošenja premaza mjerila se debljina mokrog filma te uzimajući u obzir sadržaj suhe tvari u premazu izračunata je debljina suhog filma pomoću sljedećeg izraza:

$$DSF = \frac{DMF \cdot VST}{100} \quad (1)$$

gdje je  $DSF$  debljina suhog filma premaza, μm,  $DMF$  debljina mokrog filma premaza, μm i  $VST$  volumni sadržaj suhe tvari, %.

Na osnovi dobivenog podatka donosi se odluka o potrebi nanošenja dodatnog sloja premaza kako bi se postigla tražena debljina suhog filma. Premaz je pri temperaturi od

20 °C površinski suh za 1 sat, dubinski suh za 4 sata, dok je potpuno skrućen kemijskim sušenjem reakcijom polimerizacije za 7 dana.

### 2.2.3.3. Nanošenje drugog premaza (Hempadur quattro 17634/22090)

Hempadur quattro 17634/22090 (volumni sadržaj suhe tvari 72 %) dvokomponentna je univerzalna epoksidna boja koja otvrdnjavanjem prerasta u tvrd i izdržljiv premaz kojega odlikuje dobra otpornost na abraziju, morsku vodu i različita ulja. Premaz se mora nanijeti homogeno tako da se dobije kontinuirani film boje koji ne sadrži kratere i to kod svakog premaza nanesenog raspršivačem.

Drugi premaz je nanesen nakon što je zadovoljen minimalni međupremazni interval. Naime, pri izmjerenim mikroklimatskim uvjetima, minimalni međupremazni interval za Hempadur 1557/1243 je 4 sata. Poštujući dobru proizvođačku (brodograđevnu) praksu nanošenje drugog premaza, tj. Hempadura quattro 17634/22090 je obavljeno 24 sata nakon nanošenja prethodnog premaza. Prije nanošenja drugog premaza mjernim uređajem izmjerena je debljina suhog filma prvog premaza. Pri određenim mikroklimatskim uvjetima premaz je nanesen bezračnim raspršivačem do debljine suhog filma od 300 µm (slika 10). Prilikom nanošenja premaza mjerena je debljina mokrog filma te uzimajući u obzir sadržaj suhe tvari u premazu, prema izrazu (1) izračunata je debljina suhog filma. Premaz je pri temperaturi od 20 °C površinski suh za 2 sata, dubinski suh za 5 sati, dok je potpuno skrućen kemijskim sušenjem reakcijom polimerizacije za 7 dana.



Slika 10. Postupak nanošenja drugog premaza Hempadur quattro 17634/22090.



#### 2.2.3.4. Nanošenje završnog premaza (Hemphatane Topcoat 55210/10000)

Završni premaz je nanesen nakon što je zadovoljen minimalni međupremazni interval. Hemphatane Topcoat 55210/10000 (volumni sadržaj suhe tvari 51 %) dvokomponentna je polusjajna poliuretanska lak boja na bazi akrilne smole, a skrućuje se pomoću alifatskog izocijanata. Svojstveno joj je dobro zadržavanje sjaja i nijanse. U ovom radu korištena je kao završni premaz na čeliku, budući da zadržava sjaj i postojanost na svjetlost u jako korozivnim atmosferskim uvjetima.

Pri određenim mikroklimatskim uvjetima završni premaz je nanesen bezračnim raspršivačem 24 sata nakon nanošenja premaza Hempadur quattro 17634/22090 (slika 11). Također izmjerena je debljina mokrog i suhog filma. Premaz je pri temperaturi od 20 °C površinski suh za 1 sat, dubinski suh za 8 sati, dok je potpuno skrućen kemijskim sušenjem reakcijom polimerizacije za 7 dana.



Slika 11. Postupak nanošenja završnog premaza Hemphatane Topcoat 55210/10000.

#### 2.2.3.5. Određivanje debljine mokrog filma premaza

Debljina mokrog filma premaza (DMF) izmjerena je pomoću šesterokutnog češlja za mjerenje debljine mokrog filma od inoxa s numeracijskom skalom na svakoj stranici (slika 12). Mjerenje debljine mokrog filma se izvodilo prema normi HR EN ISO 2808:2019 prema sljedećem postupku: češalj se postavi okomito na površinu na koju je nanesen premaz i pričekava se nekoliko sekundi da se zupci češlja smoče. Debljina mokrog filma je vrijednost koja se očitava na mjestu između suhog i mokrog zupca.



Slika 12. Određivanje debljine mokrog filma pomoću češlja.

#### 2.2.4. Određivanje debljine suhog filma premaza

Debljina suhog filma premaza (DSF) izmjerena je digitalnim uređajem Elcometer 456 prema normi SSPC-PA 2 *Procedure for Determining Conformance to Dry Coating Thickness Requirements*. Ova metoda je nedestruktivna i može se koristiti za određivanje debljine suhog filma na magnetičnim i nemagnetičnim podlogama. Prema navedenoj normi provedena su mjerenja slijedom definiranih radnji:

1. kalibracija mjernog uređaja
2. provjera točnosti očitavanja mjerača koristeći certificirane premazane standarde ili certificirane podloge
3. podešavanje očitavanja osnovnog metala podloge
4. mjerenje debljine filma na pet različitih mjesta na premazanim čeličnim pločama
5. korekcija očitavanja (ako je potrebno).

Standard dopušta jednu grešku u pet očitavanja (pravilo 80:20) odnosno ostala četiri očitavanja moraju biti najmanje 80 % od tražene debljine ili najviše tri puta veće od tražene debljine.



Slika 13. Elcometer 456 mjerac debljine suhog filma

### 2.2.5. Određivanje poroznosti u suhom filmu

Nakon sušenja završnog premaza Hemplathane Topcoat 55210/10000 određena je poroznost premaza mjernim uređajem Elcometer 270 *Pinhole Detector* prema normi HRN EN ISO 29601:2012 (slika 14). Elcometer 270 je detektor koji djeluje na principu vlažne spužve kroz koju se pušta niski električni napon. Kada se mokrom spužvom pređe preko šupljine ili oštećenja u premazu, dolazi do toka struje iz detektora u šupljinu, zatvara se strujni krug i struja preko vodiča, koji je spojen na testnu ploču i s uređajem preko konektora, dolazi do detektora što izaziva zvučni i svjetlosni signal na detektoru.



Slika 14. Određivanje poroznosti premaza pomoću uređaja Elcometer 270.



### 2.2.6. Ispitivanje korozije u umjetnoj atmosferi – Metoda ispitivanja u slanoj komori

Ispitivanje zaštitnih prevlaka na uzorcima u korozivnoj atmosferi provedeno je u modificiranoj slanoj komori prema normi HRN EN ISO 9227:2012. Slana komora je uređaj za laboratorijsko ispitivanje atmosferske korozije metalnih materijala u slanoj magli kojim se simulira korozijski utjecaj morske atmosfere. Ispitivanje u slanoj komori je ubrzani test na koroziju koji je izveden prema sljedećem postupku: testne ploče uronjene su u morsku vodu na 96 sati, nakon čega su izvađene iz slane komore, isprane te osušene (slika 15).



Slika 15. Testne ploče nakon postavljanja u modificiranu slanu komoru.

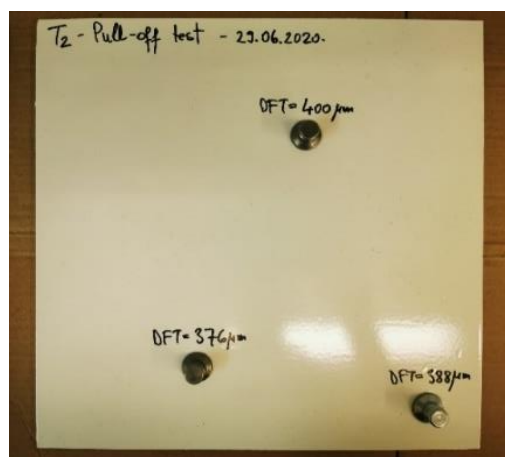
### 2.2.7. Ispitivanja prionjivosti premaza vlačnom metodom

Prionjivost premaza ispitana je vlačnom metodom, tzv. *pull-off testom*, ručnim hidrauličnim uređajem PAT model GM04/20kN *Adhesion Tester* DFD® prema normi HRN EN ISO 4624:2016 (slika 16).



Slika 16. Uređaj PAT model GM04/20kN Adhesion Tester DFD®.

Prionjivost je određena metodom mjerenja sile koja je bila potrebna za odvajanje metalnih čunjića, koji su specijalnim ljepljivom bili zalijepljeni na 3 mjesta na površinu na koju je nanesen premaz (slika 17). Nakon 24 sata što su čunjići zalijepljeni na površinu primijenjena je sila kako bi se pojedini čunjić odvojio od površine. U trenutku odvajanja čunjića od površine očitana je numerička vrijednost adhezije i kohezije koja je izražena kao vrijednost sile u MPa potrebne za uklanjanje čunjića. Također, vizualno su pregledani metalni čunjići.



Slika 17. Primjer zaljepljenih čunjića na tri mjesta na testnoj ploči.

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

U cilju određivanja optimalnog tehničko – tehnološkog postupka pripreme površine za modifikaciju novogradnje 475 (riječna plovidba) u novogradnju 780 (morska plovidba) u tvrtki Brodosplit – Zaštita trupa od korozije, ispitana su fizikalna, mehanička i antikorozivna svojstva sustava premaza nanesenih na testne ploče koje su pripremljene na različite stupnjeve čistoće prema važećim HR normama.

Priprema površine metala neophodna je kako bi se postiglo što čvršće prijanjanje premaza. Nanošenje premaza na nepripremljenu ili loše pripremljenu površinu rezultira nekvalitetnom prevlakom. Površine čeličnih ploča, na koje je prethodno nanesen cink silikatni radionički premaz, pripremljene su različitim metodama prije nanošenja sustava premaza. Na slikama od 18 do 23 prikazan je izgled površine pet ploča nakon pripreme, dok je na slici 23 prikazana površina šeste ploča koja je ostavljena nepripremljena te je služila kao usporedna testna čelična ploča. Nakon površinske obrade može se uočiti da je s čelične ploče 1, 2, 3 i 4 uklonjen radionički premaz, a na ploči 5 je zaostao sloj radioničkog premaza. Budući da je ploča 6 samo odmašćena, na njoj površini se vidi radionički premaz. Vizualna procjena čistoće površine, te stupnjevi hrđanja i stupnjevi pripreme nezaštićenih čeličnih površina utvrđeni su prema normi HRN EN ISO 8501-1:2007.



Slika 18. Izgled površine čelične ploče 1 pripremljene prema normi HRN EN ISO 8504-2:2004, stupanj čistoće Sa 3.



Slika 19. Izgled površine čelične ploče 2 pripravljene prema normi HRN EN ISO 8504-2:2004, stupanj čistoće Sa 2<sup>1/2</sup>.



Slika 20. Izgled površine čelične ploče 3 pripravljene prema normi ISO 8504-3:2000, stupanj čistoće St 2.



Slika 21. Izgled površine čelične ploče 4 pripravljene prema normi ISO 8504-3:2000, stupanj čistoće St 3.



Slika 22. Izgled površine čelične ploče 5 pripravljene ručno brusnim papirom.



Slika 23. Izgled neobrađene površine čelične ploče 6.

### 3.1. REZULTATI ISPITIVANJA ZA PROCJENU ČISTOĆE PRAŠINE

Nakon provedene pripreme površine ispitivana je čistoća površine, tj. zapašenost čeličnih površina, hrapavost površine te sadržaj soli topivih u vodi prema odgovarajućim normama.

#### 3.1.1. Rezultati ocjene zapašenosti čeličnih površina pripremljenih za bojanje

Čista površina vrlo je važna za uspješnost izvedbe površinske zaštite. Određene količine i veličine čestica prašine na površinama pripremljenima za nanošenje premaza očitane s predloška (prilog od 1 do 6) prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 9. Određene količine i veličine čestica prašine na površinama pripremljenima za nanošenje premaza

Testna ploča	Gustoća prašine (1 - 5)	Veličina zrna prašine (1 - 5)
1	2	1
2	3	1
3	2	2
4	5	1
5	1	1
6	5	3

Kako bi čelična površina bila prihvatljiva za nanošenje premaza maksimalna količina prašine kao i veličina zrna prašine ne smije prelaziti razinu 3. Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da navedene uvjete zadovoljavaju sve ploče, osim ploče 4 i 6.

#### 3.1.2. Rezultati mjerenja hrapavosti površine prema normi HRN EN ISO 8503-2:2012

Čelična površina nakon površinske obrade sastoji se od slučajnih nepravilnosti s vrhovima i dolinama koje se ne mogu lako okarakterizirati. Navedeno se naziva profil površine ili hrapavost. Profil površine ima velik utjecaj na kvalitetu površinske zaštite. Visina profila (mjereno od najniže udoline do najvišeg vrha) određuje parametre, kao

što su prijanjanje, pokrivenost i potrošnja zaštitnog premaza. Ako je profil površine prevelik, za zadovoljavajuću pokrivenost se troši više boje, a može se dogoditi da vrhovi ostanu nepokriveni, što može uzrokovati pojavu hrđe oko tih vrhova. S druge strane, ako je profil premalen, to može biti jedan od uzroka slabog prijanjanje premaza, te može uzrokovati ljuštenje, pucanje ili otpadanje prevlake. Odgovarajuća priprema površine osigurava optimalna svojstva površinske zaštite i optimizira potrošnju materijala. Optimalna hrapavost površine iznosi od 50 do 80  $\mu\text{m}$ . Hrapavost površine dobivena komparatorom i uređajem za mjerenje hrapavosti površine prikazana je u tablici 10.

Tablica 10. Rezultati određivanja hrapavosti

Testna ploča	Hrapavost određena komparatorom (1-4)	Hrapavost izmjerena mjernim uređajem / $\mu\text{m}$
1	3	81,3
2	3	95,0
3	1	28,0
4	1	20,1
5	2	57,4
6	2	104,9

Iz rezultata prikazanih u tablici može se uočiti podudarnost vizualne i taktilne procjene hrapavosti pomoću komparatora i hrapavosti određene mjernim uređajem. Naime, najniži stupanj hrapavosti i najniže izmjerene vrijednosti hrapavosti određene su za ploče 3 i 4. Zatim slijede ploče 5, 1 i 3 kod kojih je određeno povećanje stupnja hrapavosti u navedenom nizu. Jedino odstupanje je vidljivo za testnu ploču 6 i to velikoj vrijednosti hrapavosti koja je izmjerena mjernim uređajem. Razlog navedenom može biti ljudski faktor, tj. ne kalibrirani uređaj za mjerenje hrapavosti površine, ali i ne adekvatni materijal, čelični lim, koji ne udovoljava traženim standardima klasifikacije limova – limovi klase veće od 2.



### 3.1.3. Rezultati određivanja sadržaja soli topljivih u vodi

Za utvrđivanje je li sva sol odstranjena s površine, izveden je test prije apliciranja prvog premaza. Stupanj kontaminacije površine potrebno je izmjeriti prije nanošenja premaza, čime se osigurava kvaliteta i očekivani životni vijek zaštitne prevlake. Ukoliko je boja nanescena na kontaminiranu površinu, koja nije bila odgovarajuće očišćena, mogu se pojaviti greške, zbog kojih će se postupak čišćenja i bojanja morati ponoviti, čime se troškovi antikorozijske zaštite metala znatno povećavaju. U tablici 11 su prikazani rezultati određenog sadržaja soli topljivih u vodi.

Tablica 11. Sadržaj soli topljivih u vodi

Testna ploča	Sadržaj soli topljivih u vodi / mg/m <sup>2</sup>
1	10,62
2	11,70
3	6,42
4	14,40
5	8,40
6	6,36

Iz tablice 11 je vidljivo da rezultati sadržaja soli topljivih u vodi za sve čelične ploče ne prelaze graničnu vrijednost od 50 mg/m<sup>2</sup> što znači da je uvjet za nanošenje premaza zadovoljen.



### 3.2. REZULTATI ODREĐIVANJA METEOROLOŠKIH PARAMETARA

Tijekom provođenja zaštite premazima vrlo je važno odrediti meteorološke veličine kao što je relativna vlažnost zraka ( $RH$ , %) i temperaturni parametri, tj. temperatura okoline ( $T_s$ , °C), točka (temperatura) rosišta ( $T_d$ , °C). Također, vrlo važno je odrediti temperaturu površine, tj. kontaktna temperatura ( $T_a$ , °C). Prije primjene premaznog sredstva moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti:

- razlika temperature površine koja se zaštićuje premazom i temperature okoline mora biti veća od 3 °C kako bi se izbjeglo orošavanje. Ukoliko je temperatura površine metala jednaka ili manja od točke rosišta, na površini će se kondenzirati voda,
- relativna vlažnost ne smije biti veća od 85 %,
- minimalna temperatura površine metala ne smije biti manja od temperature koja je navedena u tehničkim podacima premaza.

Vrijednosti meteoroloških veličina i kontaktne temperature izmjerenih prije nanošenja sustava premaza prikazane su u tablici 12. Analizom navedenih rezultata može se zaključiti da je nanošenje sustava premaza provedeno pri zadovoljavajućim meteorološkim uvjetima.

Tablica 12. Vrijednosti meteoroloških veličina prilikom nanošenja sustava premaza

Parametar	Prvi premaz	Drugi premaz	Završni premaz
$RH$ / %	48,1	51,8	50,1
$T_s$ / °C	29,3	24,0	25,7
$T_d$ / °C	27,7	28,9	30,2
$T_a$ / °C	15,7	18,0	18,6

### 3.3. REZULTATI MJERENJA DEBLJINE MOKROG I SUHOG FILMA PREMAZA

Debljina filma premaza mjerodavna je za zaštitno djelovanje, trajnost zaštite, poroznost, tvrdoću i elastičnost premaza. Pretanki film, zbog moguće poroznosti ili nedovoljne prekrivenosti površine kao nepokriveni vrhovi profila površine, nepokriveni oštri kutovi, varovi i dr. najčešće ne daje zadovoljavajuću zaštitu. Ako je na podlogu naneseo previše premaza, u filmu premaza mogu nastati unutarnje napetosti, koje rezultiraju njegovim pucanjem. Zbog toga je važno mjerenje debljine mokrog filma i debljine suhog filma.

Ovisno o namjeni i području primjene premaza specificira se debljina filma, izdašnost, sušivost i međupremazni interval. Krajnju debljinu suhog filma može se odrediti ukoliko je poznat postotak suhe tvari u premazu, a ovaj podatak je naveden u Tehničkom listu premaza.

U eksperimentalnom dijelu ovog diplomskog rada za zaštitu brodograđevnog čelika upotrijebljen je sustav premaza: dvokomponentni epoksidni premaz (prvi premaz), dvokomponentna epoksidna boja (drugi premaz) i poliuretanski lak (završni premaz). Sustav premaza je nanesen samo na jednu stranu čeličnih ploča, dok je druga strana ploča ostala nezaštićena.

#### 3.3.1. Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma prvog premaza

Za svaki ispitivani čelični uzorak izmjerena je debljina mokrog filma ( $DMF_{P1}$ ) prvog premaza i napravljeno je 5 mjerenja debljine suhog filma prvog premaza (prilog od 7 do 12). U tablici 13 su prikazane izmjerene  $DMF_{P1}$ , minimalne ( $DSF_{P1,min}$ ) i maksimalne ( $DSF_{P1,max}$ ) debljine suhog filma i izračunata srednja vrijednosti pet mjerenja debljine suhog ( $DSF_{P1}$ ) filma prvog premaza za svaku testnu ploču.

Tablica 13. Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma prvog premaza

Testna ploča	$DMF_{P1} /$ $\mu\text{m}$	$DSF_{P1,\text{min}} /$ $\mu\text{m}$	$DSF_{P1,\text{max}} /$ $\mu\text{m}$	$DSF_{P1} /$ $\mu\text{m}$
1	306,9	139,0	182,0	159,6
2	321,5	132,0	193,0	167,2
3	308,8	137,0	189,0	160,6
4	306,2	139,0	190,0	159,2
5	302,3	145,0	166,0	157,2
6	322,7	151,0	187,0	167,8

Propisana vrijednost debljine mokrog filma je 300  $\mu\text{m}$ , dok su propisane vrijednosti suhog filma primijenjenog prvog premaza u području od 150  $\mu\text{m}$  do 450  $\mu\text{m}$ . Minimalna dopuštena debljina suhog filma je 80 % od najniže propisane vrijednosti debljine suhog filma što za primijenjeni premaz iznosi 120  $\mu\text{m}$ . Tablični podaci pokazuju da su zadovoljene debljine i mokrog i suhog filma prvog premaza.

### 3.3.2. Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma drugog premaza

Za svaki ispitivani čelični uzorak izmjerena je debljina mokrog filma ( $DMF_{P2}$ ) drugog premaza, u nizu od 5 mjerenja izmjerena je debljina suhog filma drugog premaza (prilog od 13 do 18) te je izračunata srednja vrijednost debljine suhog ( $DSF_{IzP2}$ ) filma drugog premaza. Budući da je drugi premaz nanesen na sloj suhog prvog premaza, izračunata srednja vrijednosti debljine suhog filma drugog premaza predstavlja sumu  $DSF_{P1}$  i debljine suhog sloja drugog premaza. Stvarna vrijednost debljine suhog filma drugog premaza ( $DSF_{P2}$ ) dobiva se oduzimanjem  $DSF_{P1}$  (tablica 13) od  $DSF_{IzP2}$ . Navedeni izmjereni i izračunati podaci kao i minimalne ( $DSF_{IzP2,\text{min}}$ ) i maksimalne ( $DSF_{IzP2,\text{max}}$ ) debljine suhog filma drugog premaza dani su u tablici 14.

Tablica 14. Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma drugog premaza

Testna ploča	$DMF_{P2}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{IzP2,\text{min}}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{IzP2,\text{max}}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{IzP2}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{P2}$ / $\mu\text{m}$
1	208,1	274,0	363,0	309,4	149,8
2	205,3	291,0	363,0	315,0	147,8
3	246,1	295,0	398,0	337,8	177,2
4	212,0	300,0	328,0	311,8	152,6
5	218,9	310,0	320,0	314,8	157,6
6	245,5	322,0	355,0	344,6	176,8

Budući da drugi premaz sadrži manje suhe tvari u odnosu na prvi premaz, debljina mokrog filma drugog premaza je manja od debljine mokrog filma prvog premaza (tablica 13 i 14). Nadalje, propisana vrijednost suhog filma primijenjenog prvog i drugog premaza je u području od 300  $\mu\text{m}$  do 900  $\mu\text{m}$ . Minimalna dopuštena debljina suhog filma je 80 % od najniže propisane vrijednosti debljine suhog filma što za primijenjeni prvi i drugi premaz iznosi 260  $\mu\text{m}$ . Tablični podaci pokazuju da su sve minimalne i maksimalne izmjerene vrijednosti suhog filma primijenjenog prvog i drugog premaza u području propisanih vrijednosti. Također, stvarna vrijednost debljine suhog filma drugog premaza nalazi se u području propisanih vrijednosti suhog filma primijenjenog drugog premaza, a to je u području od 150  $\mu\text{m}$  do 450  $\mu\text{m}$ .

### 3.3.3. Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma završnog premaza

Nakon sušenja drugog premaza nanesen je završni premaz na sve ispitivane čelične ploče. Pri tome je izmjerena debljina mokrog filma ( $DMF_{P3}$ ) završnog premaza, debljina suhog filma završnog premaza je izmjerena u nizu od 5 mjerenja (prilog od 19 do 24) te je izračunata srednja vrijednost debljine suhog ( $DSF_{IzP3}$ ) filma završnog premaza. Budući da je završni premaz nanesen na sloj suhog prvog i drugog premaza, izračunata srednja vrijednost debljine suhog filma završnog premaza predstavlja sumu  $DSF_{P1}$  i  $DSF_{P2}$ . Stvarna vrijednost debljine suhog filma završnog premaza ( $DSF_{P3}$ ) dobiva se oduzimanjem  $DSF_{P1}$  (tablica 13) i  $DSF_{P2}$  (tablica 14) od  $DSF_{IzP3}$ . Navedeni izmjereni i izračunati podaci kao i minimalne ( $DSF_{IzP3,\text{min}}$ ) i maksimalne ( $DSF_{IzP3,\text{max}}$ ) debljine suhog filma završnog premaza dani su u tablici 15.

Tablica 15. Rezultati mjerenja debljine mokrog i suhog filma završnog premaza

Testna ploča	$DMF_{P3}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{IzP3,min}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{IzP3,max}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{IzP3}$ / $\mu\text{m}$	$DSF_{P3}$ / $\mu\text{m}$
1	101,4	300,0	406,0	361,1	51,7
2	106,7	323,0	425,0	369,4	54,4
3	75,3	348,0	431,0	376,2	38,4
4	130,6	371,0	386,0	378,4	66,6
5	138,4	368,0	410,0	385,4	70,6
6	88,6	379,0	398,0	389,8	45,2

Propisana vrijednosti suhog filma primijenjenog prvog, drugog i završnog premaza je u području od 360  $\mu\text{m}$  do 1080  $\mu\text{m}$ . Minimalna dopuštena debljina suhog filma je 80 % od najniže propisane vrijednosti debljine suhog filma što za primijenjeni sustav premaza iznosi 288  $\mu\text{m}$ . Tablični podaci pokazuju da su sve minimalne izmjerene vrijednosti veće od 288  $\mu\text{m}$  te stoga zadovoljavaju propisanim uvjetima. Nadalje, tražena debljina suhog filma završnog premaza iznosila je 60  $\mu\text{m}$ , a minimalna dopuštena vrijednost 48  $\mu\text{m}$ , što je 80 % od tražene debljine. Prema podacima u tablici debljina suhog filma za testne ploče 3 i 6 niže su od minimalno dopuštene vrijednost. Međutim, standard dopušta 20 % greške prilikom pet mjerenja, te se može zaključiti da je ukupna debljina sustava premaza zadovoljavajuća.

### **3.4. REZULTATI MJERENJA POROZNOSTI U SUHOM FILMU PREMAZA**

Zaštitno djelovanje uvelike ovisi o debljini i poroznosti premaza, pri čemu su ta dva svojstva povezana. Naime, smanjenjem debljine premaza trošenjem, opada njegovo zaštitno svojstvo zbog povećane poroznosti, dok s povećanjem debljine premaza opada prodorna poroznost i propusnost sloja. Prilikom nanošenja premaza, tehnički je nemoguće postići jednoličnu početnu debljinu premaza po čitavoj površini podloge, osobito ako na njoj ima različitih izbočina i udubina, oštih bridova i nepristupačnih mjesta. Na takvim je mjestima smanjena debljina premaza što uvelike utječe i na lokalni zaštitni učinak.

Granična vrijednost poroznosti predstavlja maksimalni broj pora po jedinici površine, pri čemu se ne uzima u obzir veličina pora. Pore se dijele na površinske pore (sitne udubine), unutarnje pore (u premazu) i prodorne pore koje se protežu od površine premaza do podloge i bitno smanjuju zaštitnu sposobnost. Unutarnje pore koje dopiru do podloge otkrivaju se trošenjem premaza i postaju prodorne tako da istrošeni premaz sve slabije štiti konstrukcijski materijal. Poroznost se uvelike smanjuje povećanjem broja slojeva u sustavu premaza. Mala je vjerojatnost da se prodorna pora temeljnog sloja nastavi u slijedećem sloju tako da višeslojni premazi gotovo da nemaju prodorne pore.

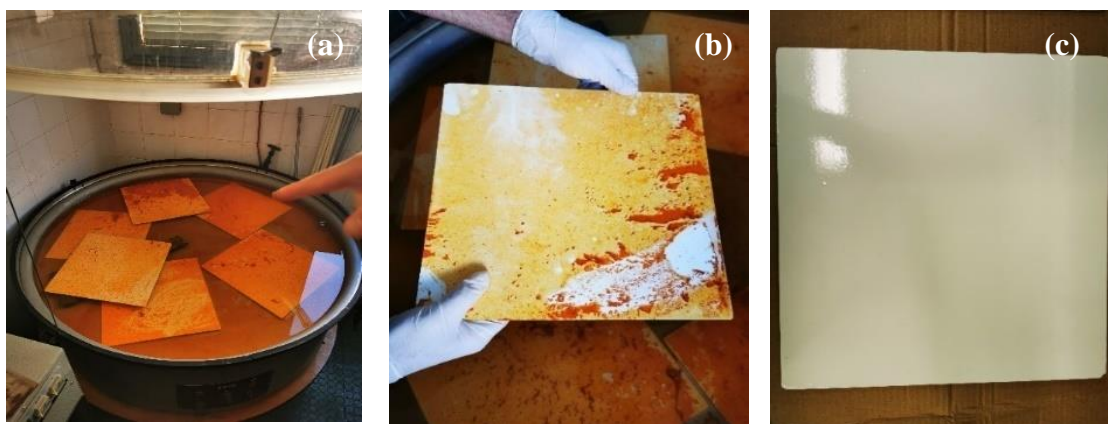
Rezultati mjerenja poroznosti u suhom filmu troslojnog premaza pokazala su da je na svim ispitivanim pločama sustav premaza neporozan.

### 3.5. REZULTATI ISPITIVANJA KOROZIJE U SLANOJ KOMORI

Ubrzana korozivna ispitivanja provedena su u modificiranoj slanoj komori u kojoj su testni uzorci bili 96 sati uronjeni u morsku vodu. Nakon 96 sati izlaganja čeličnih ploča utjecaju morske vode može se uočiti da je cijela površina ploča prekrivena žućkasto-narančastim slojem korozivnih produkata (slika 24a). Također, oko ploča, po dnu komore, može se vidjeti talog korozivnih produkata. Navedeno upućuje na slabu povezanost korozivnih produkata s površinom čeličnih ploča.

Naime, budući da je sustav premaza bio nanesen samo na jednu stranu čeličnih ploča, druga strana čeličnih ploča ostala je nezaštićena te je došlo do korozije čelika u morskoj vodi. U atmosferi, u vodi i vodenim otopinama soli koje nisu inhibitori korozije, na površini ugljičnog čelika nastaje vlažna i rahla smjesa oksida, hidroksida i oksidhidrata dvovalentnog i trovalentnog željeza, tj. hrđa čiji se sastav može izraziti formulom  $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{FeO} \cdot z\text{H}_2\text{O}$ . Njezina boja varira od žute preko crvene i smeđe do crne. Navedeni proces obično napreduje kao opća korozija uz kisikovu depolarizaciju ili redukciju vodika (u anaerobnim uvjetima).<sup>1</sup>

Nakon 96 sati ploče su izvađene iz slane komore (slika 24b), potom su isprane vodom čime su uklonjeni korozivni produkti s površine ploča (slika 24c). Može se uočiti kako na površini ploče na koju je nanesen sloj premaza nije došlo do korozije, dok je druga strana čeličnih ploča koja nije bila zaštićena premazom korodirala u morskoj vodi. Stoga se može zaključiti da je upotrijebljeni sustav premaza pogodan za zaštitu ispitivanog brodograđevnog čelika pri uvjetima ispitivanja.



Slika 24. (a) Testne ploče nakon 96 h u slanoj komori (b) izgled površine testne ploče nakon vađenja iz slane komore (c) izgled površine testne ploče nakon uklanjanja korozivnih produkata.

### 3.6. REZULTATI ISPITIVANJA PRIONJIVOSTI PREMAZA VLAČNOM METODOM

Za kakvoću premaza pored potrebne debljine i neporoznosti vrlo je važna i čvrstoća prijanjanja (adhezija) na podlogu. Uz nisku adheziju lako se odljušti čak i neistrošeni premaz, npr. već i pri malome smičnom naprezanju, dok elektrokemijska korozija metala ispod premaza, izaziva njegovo mjehuranje, što ubrzava daljnju koroziju. Provjeravanje prijanjanja nakon završenog procesa nanošenja premaza ukazuje na jakost veza između površine i premaza ili između pojedinih slojeva premaza ili na homogenost same podloge ili samog premaza. Rutinsko mjerenje adhezije je dio inspekcijske procedure, s kojom se identificiraju potencijalne greške u prevlaci. Nakon izlaganja korozivnim uvjetima u morskoj vodi na svim uzorcima ispitana je prionjivost premaza *pull-off* testom. Rezultati *pull-off* testa su sumirani u tablici 16 u kojoj D1, D2 i D3 predstavljaju nasumično odabrana mjesta na testnim pločama.

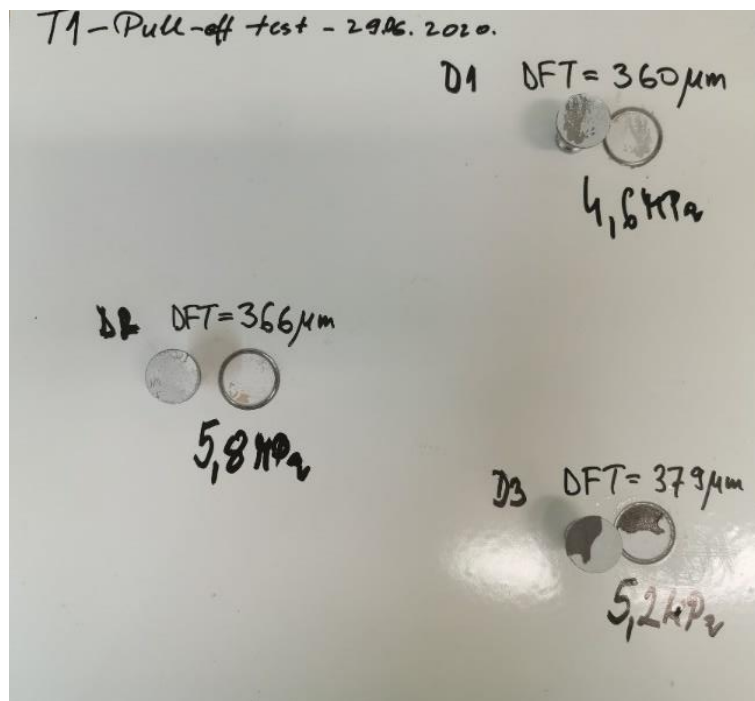
Tablica 16. Rezultati *pull-off* testa

Testna ploča	$DSF_{D1}$ / $\mu\text{m}$	$p_{D1}$ / MPa	$DSF_{D2}$ / $\mu\text{m}$	$p_{D2}$ / MPa	$DSF_{D3}$ / $\mu\text{m}$	$p_{D3}$ / MPa	$p_{sr}$ / MPa
1	360	4,6	366	5,8	379	5,2	5,2
2	400	4,6	376	5,4	388	5,8	5,3
3	402	4,4	405	5,2	368	5,8	5,1
4	400	6,0	387	5,4	380	6,6	6,0
5	399	7,8	387	6,6	412	7,8	7,4
6	372	10,6	394	8,4	380	6,0	8,3

Na slikama od 25 do 30 prikazane su testne ploče nakon *pull-off* testa. Za svaku testnu ploču ocijenjena je adhezija i kohezija te greška ljepila, ukoliko je postojala, a rezultati su prikazani u postocima (%) za svako nasumično odabrano mjesto na testnim pločama (tablice od 17 do 22).



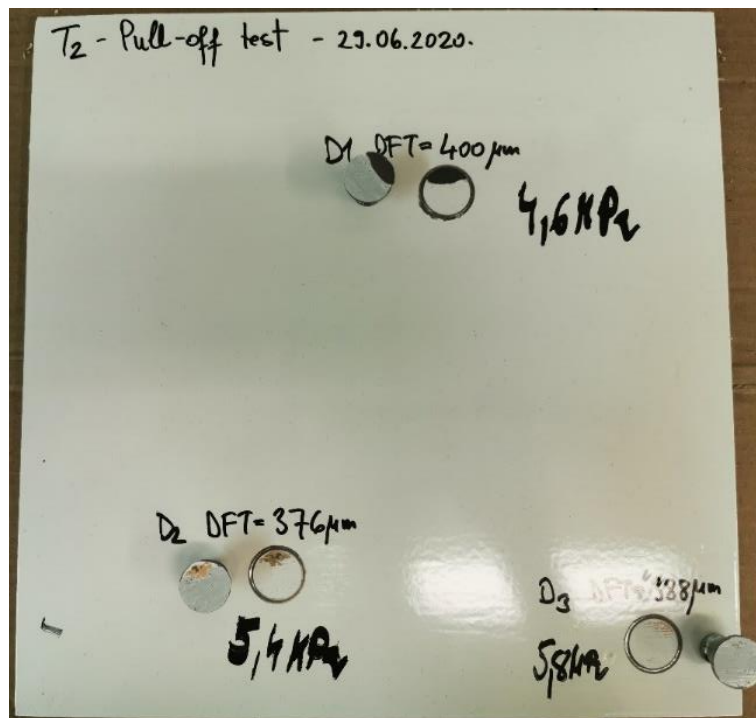
## Testna ploča 1 (T1)

Slika 25. Testna ploča 1 nakon *pull-off* testa

Tablica 17. Rezultati adhezije i kohezije te greška ljepila za testnu ploču 1

Ispitno mjesto na testnoj ploči 1	Rezultati
D1	40 % greška ljepila 55 % kohezija završnog premaza 5 % adhezija završnog i drugog premaza
D2	90 % kohezija završnog premaza 1 % kohezija drugog premaza 4 % greška ljepila 5 % adhezija završnog i drugog premaza
D3	50 % kohezija završnog premaza 50 % adhezija prvog premaza i supstrata (testna ploča)

## Testna ploča 2 (T2)

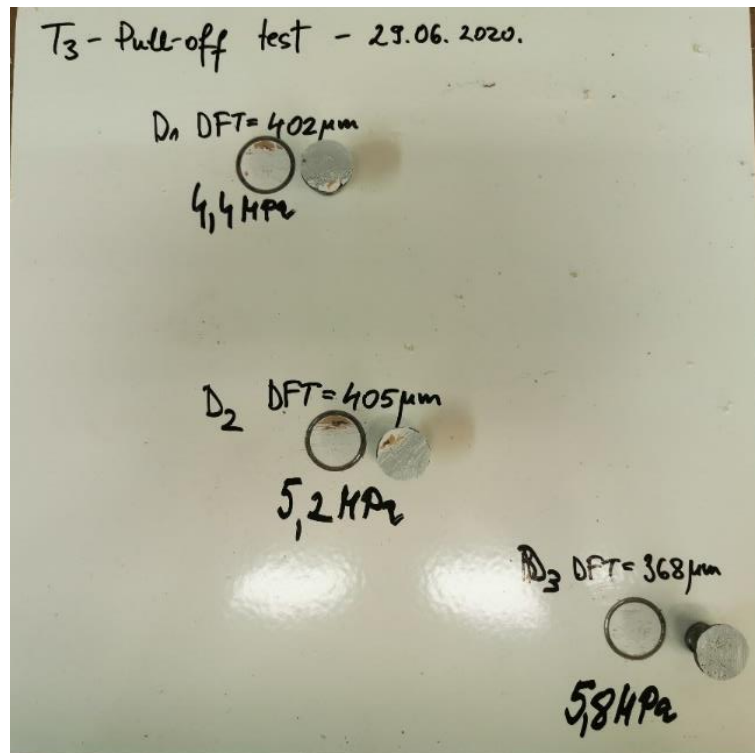


Slika 26. Testna ploča 2 nakon pull-off testa

Tablica 18. Rezultati adhezije i kohezije te greška ljepila za testnu ploču 2

Ispitno mjesto na testnoj ploči 2	Rezultati
D1	75 % kohezija završnog premaza 25 % adhezija prvog premaza i testne ploče
D2	85 % kohezija završnog premaza 10 % kohezija drugog premaza 5 % kohezija prvog premaza
D3	2 % greška ljepila 10 % adhezije između završnog i drugog premaza 88 % kohezija prvog premaza

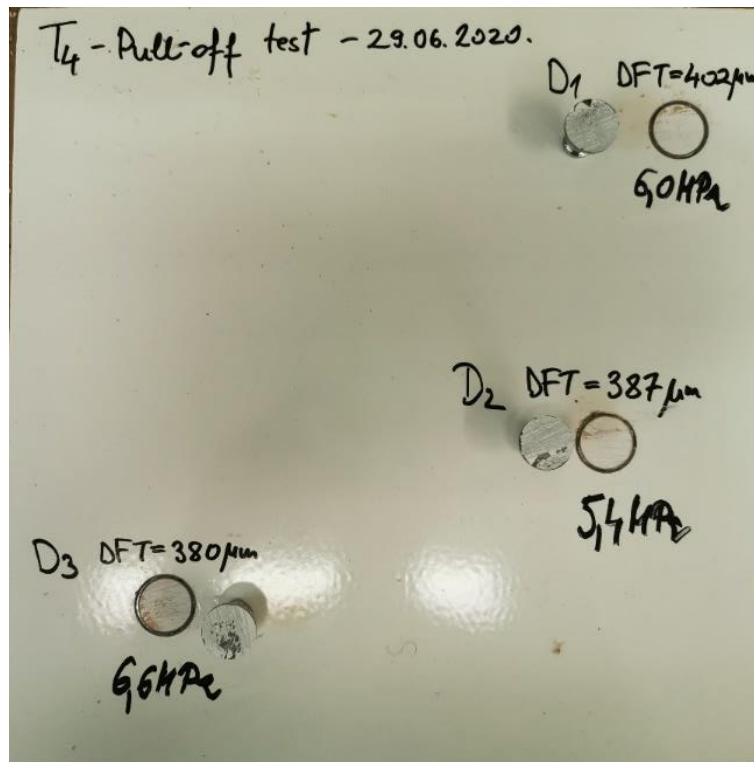
## Testna ploča 3 (T3)

Slika 27. Testna ploča 3 nakon *pull-off* testa

Tablica 19. Rezultati adhezije i kohezije te greška ljepila za testnu ploču 3

Ispitno mjesto na testnoj ploči 3	Rezultati
D1	5 % greška ljepila 80 % kohezija završnog premaza 5 % adhezija drugog i prvog premaza
D2	5 % adhezija prvi premaz supstrat 10 % kohezija drugog premaza 10 % adhezija između završnog i drugog premaza 75 % kohezija završnog premaza
D3	5 % greška ljepila 1% adhezija između završnog i drugog premaza 94 % kohezija završnog premaza

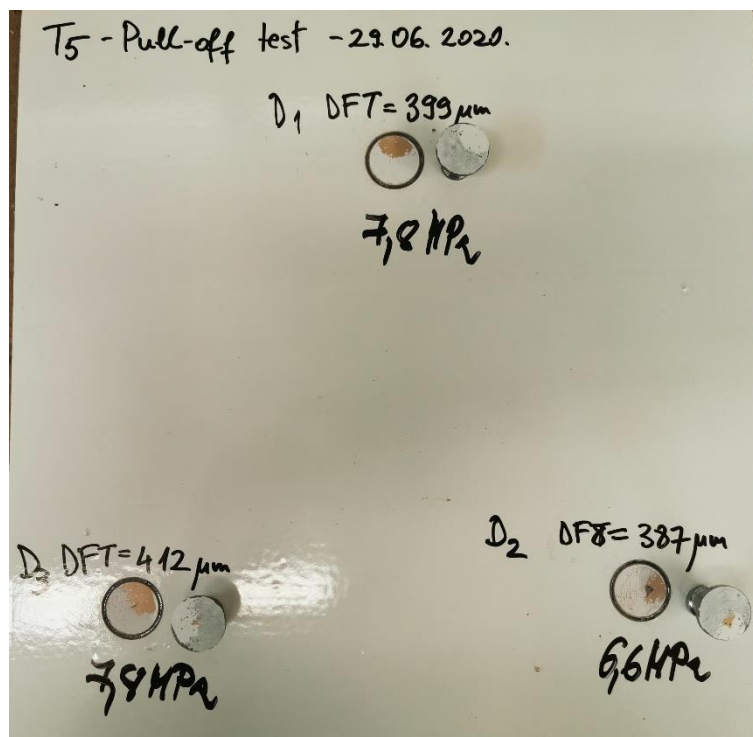
## Testna ploča 4 (T4)

Slika 28. Testna ploča 4 nakon *pull-off* testa.

Tablica 20. Rezultati adhezije i kohezije te greška ljepila za testnu ploču 4

Ispitno mjesto na testnoj ploči 4	Rezultati
D1	5 % greška ljepila 10 % adhezija između završnog i drugog premaza 85 % kohezija završnog premaza
D2	10 % greška ljepila 10 % adhezije između završnog i drugog premaza 80 % kohezija završnog premaza
D3	10 % greška ljepila 15 % adhezija između završnog i drugog premaza 75 % kohezija završnog premaza

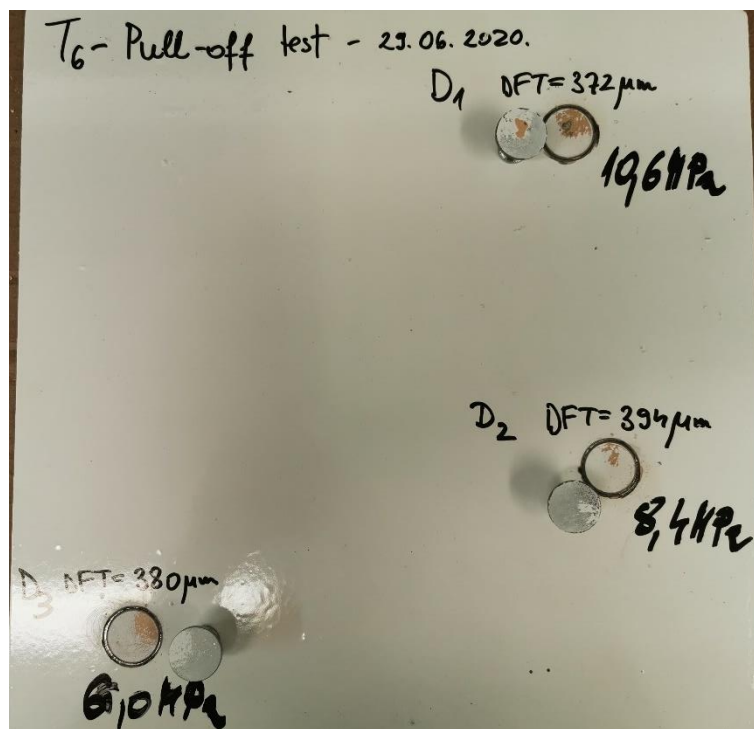
## Testna ploča 5 (T5)

Slika 29. Testna ploča 5 nakon *pull-off* testa.

Tablica 21. Rezultati adhezije i kohezije te greška ljepila za testnu ploču 5

Ispitno mjesto na testnoj ploči 5	Rezultati
D1	1 % greška ljepila 35 % adhezija između završnog i drugog premaza 64 % kohezija završnog premaza
D2	4 % greška ljepila 1 % adhezija prvog premaza i ploče 10 % adhezija drugog i prvog premaza 85 % kohezija završnog premaza
D3	5 % greška ljepila 2 % kohezija drugog premaza 30 % adhezija između završnog i drugog premaza 63 % kohezija završnog premaza

## Testna ploča 6 (T6)



Slika 30. Testna ploča 6 nakon pull-off testa.

Tablica 22. Rezultati adhezije i kohezije te greška ljepila za testnu ploču 6

Ispitno mjesto na testnoj ploči 6	Rezultati
D1	1 % adhezija prvog premaza i ploče 10 % adhezija između drugog i prvog premaza 35 % adhezija između drugog i završnog premaza 54 % kohezija završnog premaza
D2	15 % adhezija između završnog i drugog premaza 85 % kohezija završnog premaza
D3	5 % greška ljepila 25 % adhezija drugog i završnog premaza 70 % kohezija završnog premaza

Rezultati testa adhezije pokazali su da je najbolje prijanjanje nanesenog sustava premaza na testnim pločama 5 i 6 na kojima je prethodno nanesen radionički premaz.

### 3.7. REZULTATI MJERENJA HOS-A

Tijekom antikorozivne zaštite, tj. nanošenja, a potom i sušenja premaza, u okoliš je emitirana određena količina hlapivih organskih spojeva. Količina hlapivih organskih spojeva emitiranih tijekom eksperimentalnog dijela ovog diplomskog rada može se izračunati prema sljedećem izrazu:

$$HOS = P \cdot \left(1 - \frac{VST}{100}\right) \quad (2)$$

gdje je *HOS* količina emitiranih hlapivih organskih spojeva, dm<sup>3</sup>, *P* potrošnja premaza dm<sup>3</sup>, *VST* volumni udio suhe tvari, %.

Potrošnja premaza može se izračunati prema izrazu (3).

$$P = \frac{DSF \cdot A}{10 \cdot VST \cdot faktor\ gubitka} \quad (3)$$

gdje je *A* površina, m<sup>2</sup>, a faktor gubitka iznosi 0,6.

Koristeći prethodno prikazane izraze izračunate su sljedeće vrijednosti za sustav premaza korištenih u ovom diplomskom radu:

- potrošnja prvog premaza za 6 testnih ploča, uz gubitke, iznosila je 0,8995 dm<sup>3</sup>
- potrošnja drugog premaza za 6 testnih ploča, uz gubitke, iznosila je 0,8905 dm<sup>3</sup>
- potrošnja završnog premaza za 6 testnih ploča, uz gubitke, iznosila je 0,3143 dm<sup>3</sup>.

Ukupna potrošnja sva tri premaza iznosi 2,1043 dm<sup>3</sup> na 1,8 m<sup>2</sup>.

Emisija HOS-a za:

- 1. premaz iznosila je 0,4138 dm<sup>3</sup>
- 2. premaz iznosila je 0,2493 dm<sup>3</sup>
- 3. premaz iznosila je 0,1540 dm<sup>3</sup>.

Ukupna emisija HOS-a u okoliš, uzimajući u obzir i korištenje 0,1 dm<sup>3</sup> razrjeđivača za odmaščivanje, iznosila je 0,9171 dm<sup>3</sup>.

Dobiveni rezultati mogu poslužiti za izračun količine potrebnih premaza te vrijednost emitiranih HOS-a ukoliko bi se ispitivani sustav premaza upotrijebio za realan projekt, tj. cijeli trup broda, i samim time moglo bi se predvidjeti hoće li će se prijeći ciljne emisije određene za danu godinu.

## 4. ZAKLJUČAK

U cilju određivanja optimalnog tehničko – tehnološkog postupka pripreme površine za modifikaciju NOV 780 iz riječne u morsku plovidbu, u tvrtki Brodosplit – Zaštita trupa od korozije, ispitana su fizikalna, mehanička i antikorozivna svojstva sustava premaza nanesenih na testne ploče koje su pripremljene na različite stupnjeve čistoće prema važećim HR normama.

Najvažniji kriteriji kvalitete nanesenog premaza ili sustava premaza su test poroznosti te test adhezije (*pull-off* test).

Na temelju provedenih ispitivanja, može se zaključiti sljedeće:

- Iz rezultata provedenih ispitivanja testnih ploča u modificiranoj slanoj komori i testa poroznosti može se zaključiti da je premaz uniforman, odnosno da je neporozan, te samim time nije podložan koroziji.
- Rezultati testa adhezije pokazali su da je najbolje sveukupno prijanjanje nanesenog sustava premaza na testnim pločama 5 i 6 na kojima je prethodno nanesen radionički premaz.
- Emisija hlapivih organskih spojeva je značajna.

Radionički premaz na bazi cink-silikata ostvaruje bolje vezivanje na čeličnu površinu od izravno nanesenog premaza što znači da nije potrebno provoditi opsežnu sekundarnu pripremu površine u smislu pjeskarenja cijele površine koju je potrebno antikorozivno zaštititi, već je dovoljno površinu s neoštećenim radioničkim premazom isprati slatkom vodom kako bi se uklonile soli, zaostalu prašinu ukloniti oprашivanjem i prisutne organske nečistoće (masti i ulja) ukloniti odmašćivanjem.

Premazi koji sadrže hlapive organske spojeve mogu negativno utjecati na čovjekovo zdravlje, ali i na prirodu koja ga okružuje. Stoga treba poduzeti sve moguće korake kako bi se negativni utjecaji sveli na minimum te kako bi brodogradnja funkcionirala održivo u skladu s prirodom, čovjekom i svojim proizvodnim mogućnostima.



## 5. LITERATURA

1. *I. Esih, Z. Dugi*, Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
2. *A. Hrepić*, Inhibicija korozije metala uporabom Padina pavonica LinnaeusThivy ekstrakta Završni rad, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, 2019.
3. URL: <https://www.bib.irb.hr/749408?&rad=749408> (8. 7. 2020.)
4. *M. Kliškić, L. Vrsalović*, Vježbe iz tehnologije površinske zaštite (interna skripta), Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, Split, 2005.
5. *D. Kjernsmo, K. Kleven, J. Schele*, 1st book edition, Corrosion protection (Inspector's book reference), Bording, Denmark, 2003.
6. *M. Mikić*, Zaštita od korozije broda za prijevoz nafte i naftnih preradevina, Diplomski rad, Zagreb, 2007.
7. URL: [http://repositorij.fsb.hr/2312/1/04\\_07\\_2013\\_Diplomski\\_rad\\_-\\_Hrvoje\\_Rakic.pdf](http://repositorij.fsb.hr/2312/1/04_07_2013_Diplomski_rad_-_Hrvoje_Rakic.pdf) (15. 9. 2020.)
8. URL: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2008\\_10\\_112\\_3269.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2008_10_112_3269.html) (20. 8. 2020.)
9. HEMPEL: Odabir odgovarajućeg premaza, Umag, 2017
10. *G. Maslov*, Zaštita od korozije organskim prevlakama u brodogradnji i utjecaj na okoliš, diplomski rad, Zagreb 2011.
11. URL: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Otpad> (15. 8. 2020.)
12. URL: <https://mzoe.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug-4925/otpad/odrzivo-gospodarenje-otpadom/1272> (15. 8. 2020.)
13. URL: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_08\\_87\\_2073.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_08_87_2073.html) (25. 9. 2020.)
14. Abrasive Blasting Hazards in Shipyard Employment; OSHA Guidance Document, December 2006.

## 6. PRILOZI

### Prilog 1. Predložak za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza za testnu ploču 1.

**Elcometer 142 Dust Assessment**  
**In Accordance With ISO 8502-3**

Evaluation de la quantité de poussière selon ISO 8502-3 - Staubabschätzung in Übereinstimmung mit ISO 8502-3

Name: TESTNA PLOČICA 1 Date: 15. 06. 2020 Time: .....

Norm - Name Date - Datum Heure - Zeit

Company: ..... Location: .....

Société - Firma Lieu - Ort

Dust quantity rating (Mean): 2 Dust particle size: (See table) 1

Quantité de poussière (moyenne): Taille des particules de poussière: (voir tableau)

Staubmengeneinschätzung (Durchschnitt) Staubpartikelgröße: (Vgl. Tabelle)

Test 1	
Test 2	
Test 3	
Test 4	
Test 5	

**Dust Quantity Rating** Quantité de poussière - Staubmengeneinschätzung

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Surface identification: .....

Identification surface - Identifizierung der Oberfläche

Substrate backing used:  Elcometer 142 (T14219454)  Other .....

Description substrat de base utilisé Autre - Andere

Verwendetes Trägermaterial unter Klebeband

Nature of surface tested: .....

Nature de la surface testée - Beschaffenheit der getesteten Oberfläche

Adhesive tape used:  Elcometer 142 (T9999358)  Other .....

Adhésif utilisé Autre - Andere

Verwendetes Klebeband

© Elcometer Limited 2009

**Prilog 2. Predložak za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza za testnu ploču 2.**

**Elcometer 142 Dust Assessment**  
**In Accordance With ISO 8502-3**

Evaluation de la quantité de poussière selon ISO 8502-3 - Staubabschätzung in Übereinstimmung mit ISO 8502-3

Name: TESTNA PLOČICA 2 Date: 15. 06. 2020. Time: .....

Nom - Name Date - Datum Heure - Zeit

Company: ..... Location: .....

Société - Firma Lieu - Ort

Dust quantity rating (Mean): 3 Dust particle size: (See table) 1

Quantité de poussière (moyenne): Taille des particules de poussière: (voir tableau)

Staubmengeneinschätzung (Durchschnitt) Staubpartikelgröße: (Vgl. Tabelle)

Test 1




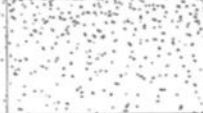

Test 2

Test 3

Test 4

Test 5

**Dust Quantity Rating** Quantité de poussière - Staubmengeneinschätzung

				
1	2	3	4	5

Surface identification: .....

Identification surface - Identifizierung der Oberfläche

Substrate backing used:  Elcometer 142 (T14219454)  Other .....

Description substrat de base utilisé Autre - Andere

Verwendetes Trägermaterial unter Klebeband

Nature of surface tested: .....

Nature de la surface testée - Beschaffenheit der getesteten Oberfläche

Adhesive tape used:  Elcometer 142 (T9999358)  Other .....

Adhésif utilisé Autre - Andere

Verwendetes Klebeband

© Elcometer Limited 2009

**Prilog 3. Predložak za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza za testnu ploču 3.**

**Elcometer 142 Dust Assessment  
In Accordance With ISO 8502-3**

Evaluation de la quantité de poussière selon ISO 8502-3 - Staubabschätzung in Übereinstimmung mit ISO 8502-3

Name: TESTNA PLOČICA 3 Date: 15.06.2020. Time: .....

Nom - Name Date - Datum Heure - Zeit

Company: ..... Location: .....

Société - Firma Lieu - Ort

Dust quantity rating (Mean):  Dust particle size: (See table)

Quantité de poussière (moyenne): Taille des particules de poussière: (voir tableau)

Staubmengeneinschätzung (Durchschnitt) Staubpartikelgröße: (Vgl. Tabelle)

Test 1	
Test 2	
Test 3	
Test 4	
Test 5	

**Dust Quantity Rating** Quantité de poussière - Staubmengeneinschätzung

1	2	3	4	5

Surface identification: .....

Identification surface - Identifizierung der Oberfläche

Substrate backing used:  Elcometer 142 (T14219454)  Other .....

Description substrat de base utilisé Autre - Andere

Verwendetes Trägermaterial unter Klebeband

Nature of surface tested: .....

Nature de la surface testée - Beschaffenheit der getesteten Oberfläche

Adhesive tape used:  Elcometer 142 (T9990358)  Other .....

Adhésif utilisé Autre - Andere

Verwendetes Klebeband

© Elcometer Limited 2009

**Prilog 4. Predložak za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza za testnu ploču 4.**

**Elcometer 142 Dust Assessment  
In Accordance With ISO 8502-3**

Evaluation de la quantité de poussière selon ISO 8502-3 - Staubabschätzung in Übereinstimmung mit ISO 8502-3

Name: TESTNA PLOČICA 4 Date: 15. 06. 2020 Time: .....

Nom - Name Date - Datum Heure - Zeit


Company: ..... Location: .....

Société - Firma Lieu - Ort


Dust quantity rating (Mean): 5 Dust particle size: (See table) 1

Quantité de poussière (moyenne): Taille des particules de poussière: (voir tableau)  
Staubmengeneinschätzung (Durchschnitt) Staubpartikelgröße: (vgl. Tabelle)


Test 1




Test 2




Test 3




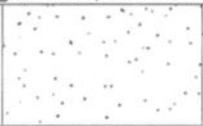
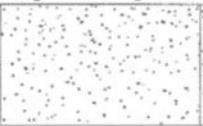
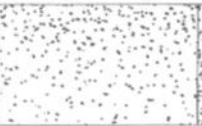
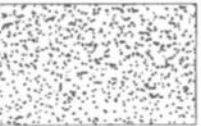
Test 4



Test 5



**Dust Quantity Rating** Quantité de poussière - Staubmengeneinschätzung

				
1	2	3	4	5

Surface identification: .....

Identification surface - Identifizierung der Oberfläche

Substrate backing used:  Elcometer 142 (T14219454)  Other .....

Description substrat de base utilisé Autre - Andere

Verwendetes Trägermaterial unter Klebeband

Nature of surface tested: .....

Nature de la surface testée - Beschaffenheit der getesteten Oberfläche

Adhesive tape used:  Elcometer 142 (T9998358)  Other .....

Adhésif utilisé Autre - Andere

Verwendetes Klebeband

© Elcometer Limited 2009

**Prilog 5. Predložak za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza za testnu ploču 5.**

**Elcometer 142 Dust Assessment  
In Accordance With ISO 8502-3**

Evaluation de la quantité de poussière selon ISO 8502-3 - Staubabschätzung in Übereinstimmung mit ISO 8502-3

Name: TESTNA PLOČICA 5 Date: 15.06.2020 Time: .....

Norm - Name Date - Datum Heure - Zeit


Company: ..... Location: .....

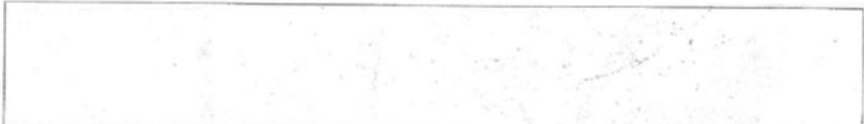
Société - Firma Lieu - Ort


Dust quantity rating (Mean):  1 Dust particle size: (See table)  1


Quantité de poussière (moyenne): Taille des particules de poussière: (voir tableau)


Staubmengeneinschätzung (Durchschnitt) Staubpartikelgröße: (Vgl. Tabelle)

Test 1 




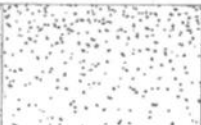
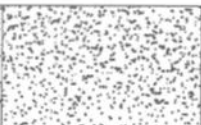
Test 2 

Test 3 

Test 4 

Test 5 

**Dust Quantity Rating** Quantité de poussière - Staubmengeneinschätzung

				
1	2	3	4	5

Surface identification: .....

Identification surface - Identifizierung der Oberfläche

Substrate backing used:  Elcometer 142 (T14219454)  Other .....

Description substrat de base utilisé Autre - Andere

Verwendetes Trägermaterial unter Klebeband

Nature of surface tested: .....

Nature de la surface testée - Beschaffenheit der getesteten Oberfläche

Adhesive tape used:  Elcometer 142 (T9999356)  Other .....

Adhésif utilisé Autre - Andere

Verwendetes Klebeband

© Elcometer Limited 2009



**Prilog 6. Predložak za utvrđivanje količine i veličina čestica prašine na površini pripremljenoj za nanošenje premaza za testnu ploču 6.**

**Elcometer 142 Dust Assessment  
In Accordance With ISO 8502-3**

Evaluation de la quantité de poussière selon ISO 8502-3 - Staubabschätzung in Übereinstimmung mit ISO 8502-3

Name: TESTNA PLOČICA 6 Date: 15.06.2020. Time: .....

Norm - Name Date - Datum Heure - Zeit


Company: ..... Location: .....


Société - Firma Lieu - Ort


Dust quantity rating (Mean):  5 Dust particle size: (See table)  3


Quantité de poussière (moyenne): Taille des particules de poussière: (voir tableau)


Staubmengeneinschätzung (Durchschnitt) Staubpartikelgröße: (Vgl. Tabelle)

Test 1 

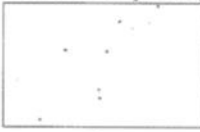

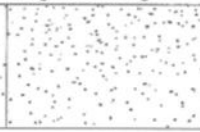
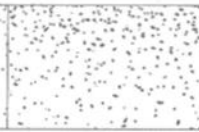
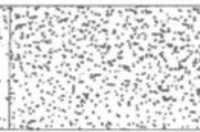
Test 2 

Test 3 

Test 4 

Test 5 

**Dust Quantity Rating** Quantité de poussière - Staubmengeneinschätzung

				
1	2	3	4	5

Surface identification: .....

Identification surface - Identifizierung der Oberfläche

Substrate backing used:  Elcometer 142 (T14219454)  Other .....

Description substrat de base utilisé Autre - Andere

Verwendetes Trägermaterial unter Klebeband

Nature of surface tested: .....

Nature de la surface testée - Beschaffenheit der getesteten Oberfläche

Adhesive tape used:  Elcometer 142 (T9999358)  Other .....

Ahésif utilisé Autre - Andere

Verwendetes Klebeband

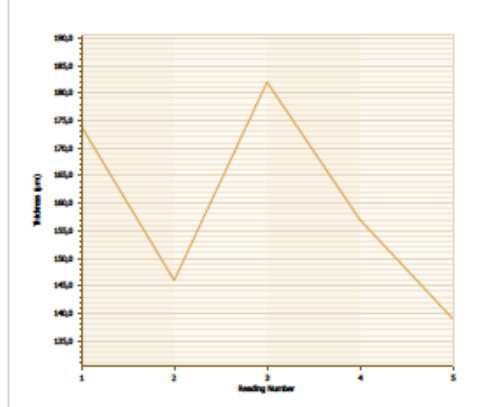
© Elcometer Limited 2009

## Prilog 7. Debljina suhog filma prvog premaza za testnu ploču 1 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

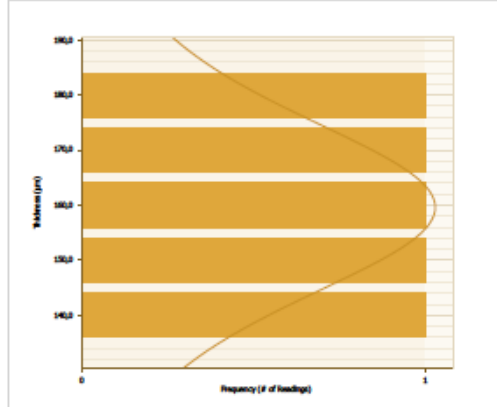
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad\DSF 1. premaza\  
Testna pločica br. 1 - PP Sa3 - DSF prije drugog premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	T1
User ID	Testna pločica br. 1 - PP Sa3 - DSF pri
Created Date	16.6.2020. 8:36:15
Updated Date	16.6.2020. 8:36:15
First Reading Date	16.6.2020. 10:27:11
Last Reading Date	16.6.2020. 10:28:02

Statistics	
# Readings	5
Mean	159,60 µm
Minimum	139,0 µm
Maximum	182,0 µm
Standard Deviation	18,20 µm
+3σ	214,2 µm
-3σ	105,0 µm
Coefficient of Variation	11,4%
# Readings < NDFT	5 (100,0%)
# Readings >= NDFT	0 (0,0%)

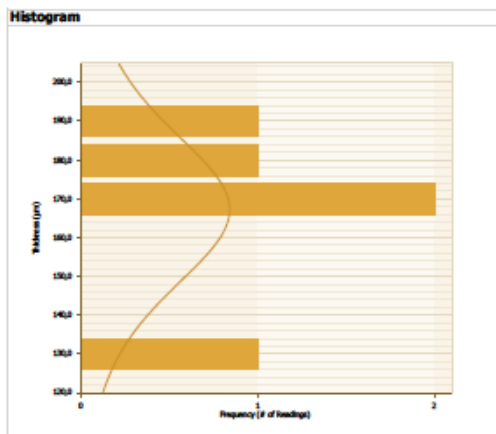
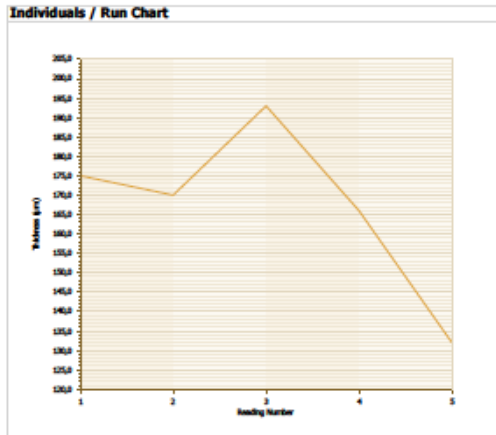
Limits	
NDFT	320,0 µm



## Prilog 8. Debljina suhog filma prvog premaza za testnu ploču 2 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad\DSF 1. premaza\  
Testna pločica br. 2 - PP Sa2,5 - DSF prije drugog premaza



**Project**

Name	Eugen Alviž - Diplomski rad
------	-----------------------------

**Gauge**

Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

**Probe**

Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

**Batch**

Name in Gauge	T2
User ID	Testna pločica br. 2 - PP Sa2,5 - DSF p
Created Date	16.6.2020. 10:29:37
Updated Date	16.6.2020. 10:29:37
First Reading Date	16.6.2020. 10:29:47
Last Reading Date	16.6.2020. 10:30:17

**Statistics**

Statistic	Value
# Readings	5
Mean	167,20 µm
Minimum	132,0 µm
Maximum	193,0 µm
Standard Deviation	22,22 µm
+3σ	233,9 µm
-3σ	100,5 µm
Coefficient of Variation	13,3%
# Readings < NDFT	5 (100,0%)
# Readings >= NDFT	0 (0,0%)

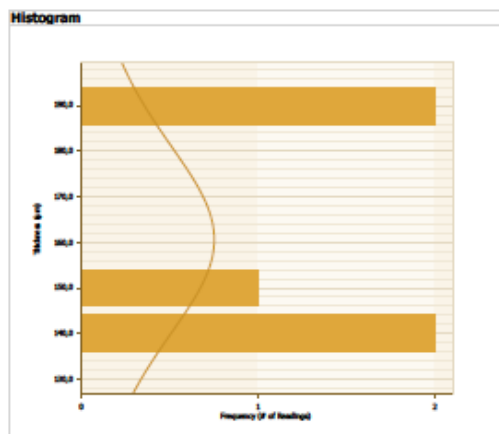
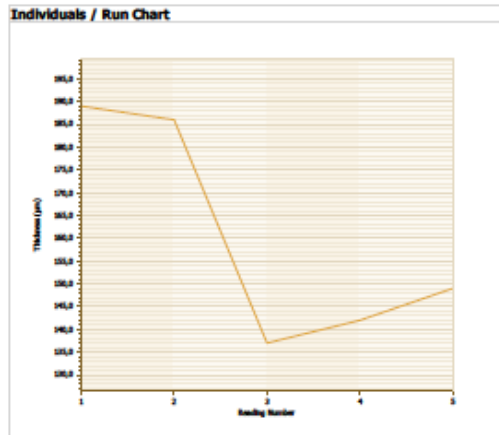
**Limits**

NDFT	320,0 µm
------	----------

## Prilog 9. Debljina suhog filma prvog premaza za testnu ploču 3 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 1. premaza)  
Testna ploča br. 3 - PP St3 - DSF prije drugog premaza



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	T3
User ID	Testna ploča br. 3 - PP St3 - DSF pri
Created Date	16.6.2020, 10:31:23
Updated Date	16.6.2020, 10:31:23
First Reading Date	16.6.2020, 10:32:38
Last Reading Date	16.6.2020, 10:32:49

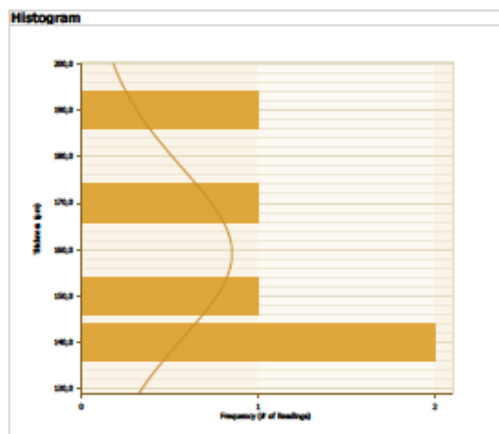
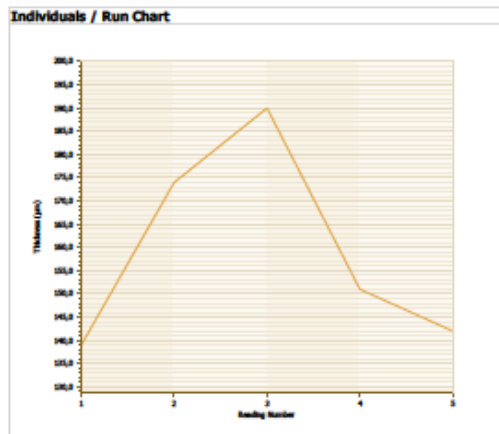
Statistics	
# Readings	5
Mean	160,60 µm
Minimum	137,0 µm
Maximum	189,0 µm
Standard Deviation	24,95 µm
+3σ	235,4 µm
-3σ	85,8 µm
Coefficient of Variation	15,5%
# Readings < NDFT	5 (100,0%)
# Readings >= NDFT	0 (0,0%)

Limits	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 10. Debljina suhog filma prvog premaza za testnu ploču 4 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 1. premaza)  
Testna ploča br. 4 - PP St2 - DSF prije drugog premaza



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	Batch 4
User ID	Testna ploča br. 4 - PP St2 - DSF pri
Created Date	16.6.2020, 10:33:09
Updated Date	16.6.2020, 10:33:09
First Reading Date	16.6.2020, 10:33:14
Last Reading Date	16.6.2020, 10:33:21

Statistics	
# Readings	5
Mean	159,20 µm
Minimum	139,0 µm
Maximum	190,0 µm
Standard Deviation	22,02 µm
+3σ	225,2 µm
-3σ	93,2 µm
Coefficient of Variation	13,8%
# Readings < NDFT	5 (100,0%)
# Readings >= NDFT	0 (0,0%)

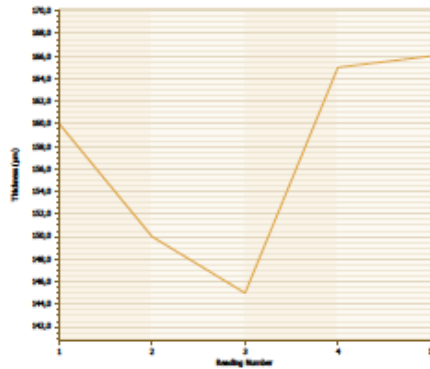
Limits	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 11. Debljina suhog filma prvog premaza za testnu ploču 5 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

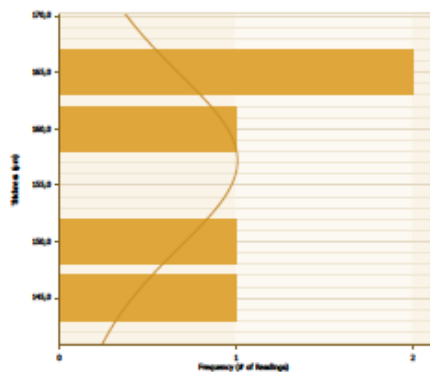
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 1. premaza)  
Testna ploča br. 5 - PP ručni papir - DSF prije drugog premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



<b>Project</b>	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

<b>Gauge</b>	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

<b>Probe</b>	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

<b>Batch</b>	
Name in Gauge	Batch 5
User ID	Testna ploča br. 5 - PP ručni papir -
Created Date	16.6.2020, 10:33:41
Updated Date	16.6.2020, 10:33:41
First Reading Date	16.6.2020, 10:33:44
Last Reading Date	16.6.2020, 10:33:51

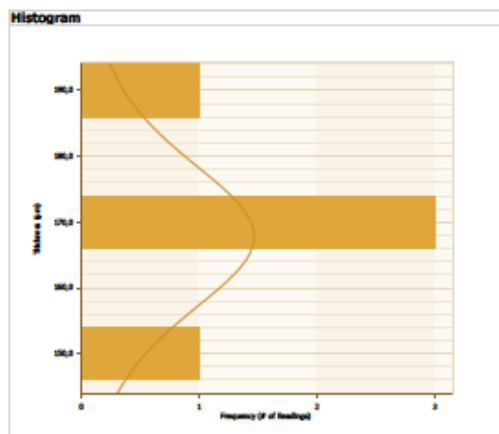
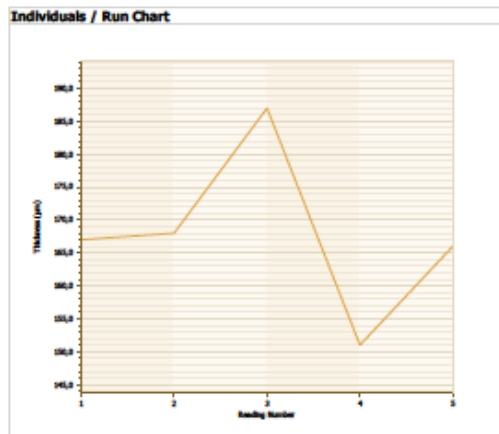
<b>Statistics</b>	
# Readings	5
Mean	157,20 µm
Minimum	145,0 µm
Maximum	166,0 µm
Standard Deviation	9,31 µm
+3σ	185,1 µm
-3σ	129,3 µm
Coefficient of Variation	5,9%
# Readings < NDFT	5 (100,0%)
# Readings >= NDFT	0 (0,0%)

<b>Limits</b>	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 12. Debljina suhog filma prvog premaza za testnu ploču 6 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 1. premaza)  
Testna ploča br. 6 - PP bez pripreme - DSF prije drugog premaza



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	Batch 6
User ID	Testna ploča br. 6 - PP bez pripreme
Created Date	16.6.2020. 10:34:21
Updated Date	16.6.2020. 10:34:21
First Reading Date	16.6.2020. 10:34:25
Last Reading Date	16.6.2020. 10:34:32

Statistics	
# Readings	5
Mean	167,80 µm
Minimum	151,0 µm
Maximum	187,0 µm
Standard Deviation	12,79 µm
+3σ	206,2 µm
-3σ	129,4 µm
Coefficient of Variation	7,6%
# Readings < NDFT	5 (100,0%)
# Readings >= NDFT	0 (0,0%)

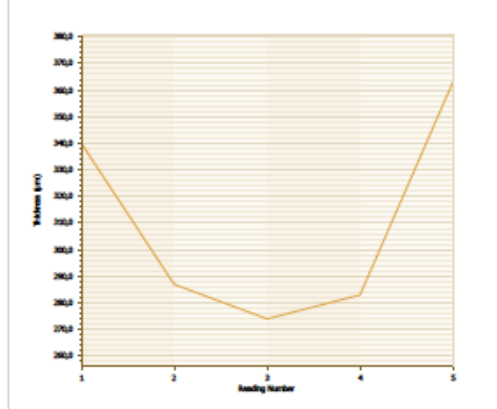
Limits	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 13. Debljina suhog filma drugog premaza za testnu ploču 1 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

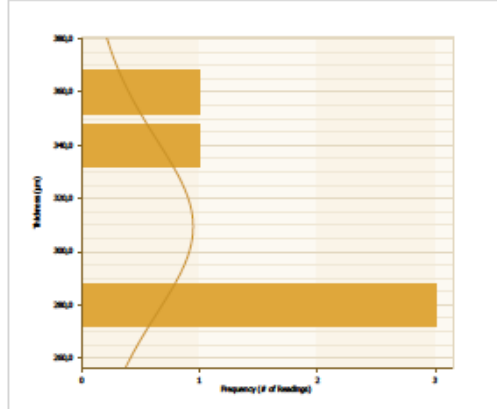
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad\DSF 2. premaza\  
Testna pločica br. 1 - PP Sa3 - DSF prije trećeg premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	Batch 7
User ID	Testna pločica br. 1 - PP Sa3 - DSF pri
Created Date	17.6.2020. 13:31:09
Updated Date	17.6.2020. 13:31:09
First Reading Date	17.6.2020. 13:31:16
Last Reading Date	17.6.2020. 13:31:24

Statistics	
# Readings	5
Mean	309,40 µm
Minimum	274,0 µm
Maximum	363,0 µm
Standard Deviation	39,56 µm
+3σ	428,1 µm
-3σ	190,7 µm
Coefficient of Variation	12,8%
# Readings < NDFT	3 (60,0%)
# Readings >= NDFT	2 (40,0%)

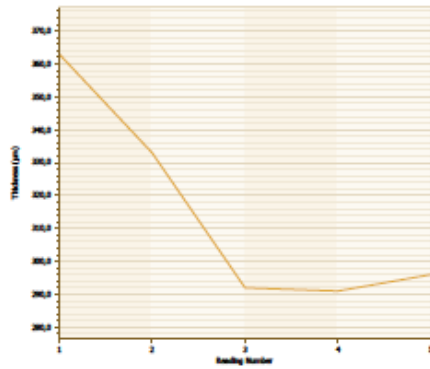
Limits	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 14. Debljina suhog filma drugog premaza za testnu ploču 2 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

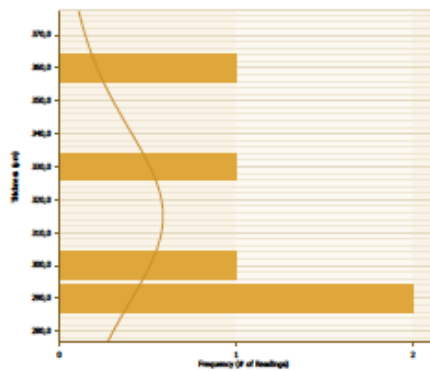
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 2. premaza)  
Testna ploča br. 2 - PP Sa2,5 - DSF prije trećeg premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



**Project**  
Name Eugen Alviž - Diplomski rad

**Gauge**  
Type Elcometer 456/4  
PCB Serial #  
Serial # ME07956  
User ID

**Probe**  
Type F2  
Serial # ME01373  
Calibration Method Zero

**Batch**  
Name in Gauge Batch 8  
User ID Testna ploča br. 2 - PP Sa2,5 - DSF p  
Created Date 17.6.2020, 13:31:31  
Updated Date 17.6.2020, 13:31:31  
First Reading Date 17.6.2020, 13:31:35  
Last Reading Date 17.6.2020, 13:31:42

**Statistics**

# Readings	5
Mean	315,00 µm
Minimum	291,0 µm
Maximum	363,0 µm
Standard Deviation	31,99 µm
+3σ	411,0 µm
-3σ	219,0 µm
Coefficient of Variation	10,2%
# Readings < NDFT	3 (60,0%)
# Readings >= NDFT	2 (40,0%)

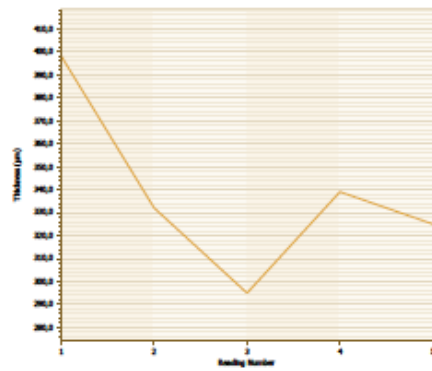
**Limits**  
NDFT 320,0 µm

## Prilog 15. Debljina suhog filma drugog premaza za testnu ploču 3 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

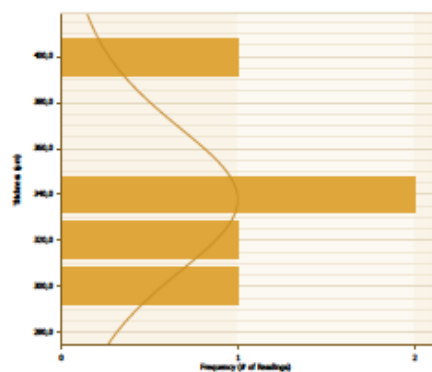
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 2. premaza)  
Testna pločica br. 3 - PP St3 - DSF prije trećeg premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	Batch 9
User ID	Testna pločica br. 3 - PP St3 - DSF pri
Created Date	17.6.2020, 13:31:47
Updated Date	17.6.2020, 13:31:47
First Reading Date	17.6.2020, 13:31:51
Last Reading Date	17.6.2020, 13:32:04

Statistics	
# Readings	5
Mean	337,80 µm
Minimum	295,0 µm
Maximum	398,0 µm
Standard Deviation	37,60 µm
+3σ	450,6 µm
-3σ	225,0 µm
Coefficient of Variation	11,1%
# Readings < NDFT	1 (20,0%)
# Readings >= NDFT	4 (80,0%)

Limits	
NDFT	320,0 µm

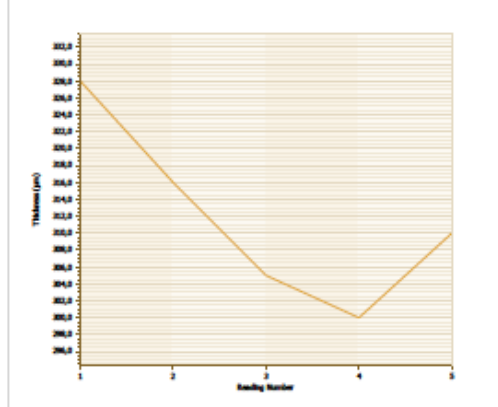


## Prilog 16. Debljina suhog filma drugog premaza za testnu ploču 4 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

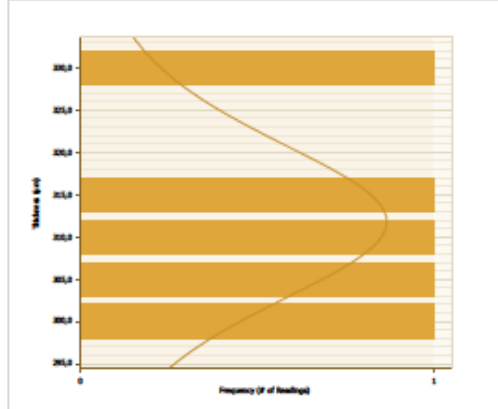
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 2. premaza)  
Testna pločica br. 4 - PP St2 - DSF prije trećeg premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



**Project**  
Name Eugen Alviž - Diplomski rad

**Gauge**  
Type Elcometer 456/4  
PCB Serial #  
Serial # ME07956  
User ID

**Probe**  
Type F2  
Serial # ME01373  
Calibration Method Zero

**Batch**  
Name in Gauge Batch 10  
User ID Testna pločica br. 4 - PP St2 - DSF pri  
Created Date 17.6.2020, 13:32:13  
Updated Date 17.6.2020, 13:32:13  
First Reading Date 17.6.2020, 13:32:16  
Last Reading Date 17.6.2020, 13:32:23

**Statistics**

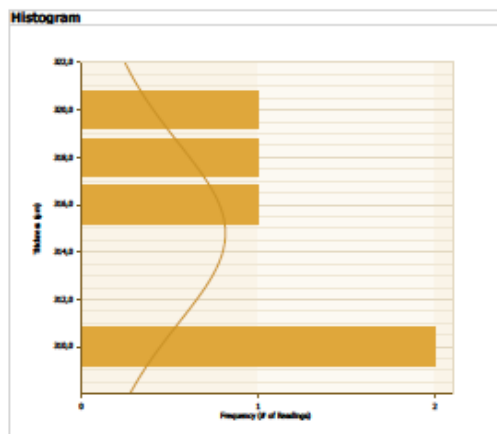
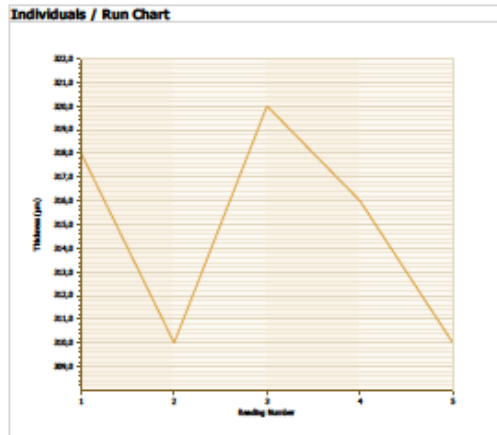
# Readings	5
Mean	311,80 µm
Minimum	300,0 µm
Maximum	328,0 µm
Standard Deviation	10,83 µm
+3σ	344,3 µm
-3σ	279,3 µm
Coefficient of Variation	3,5%
# Readings < NDFT	4 (80,0%)
# Readings >= NDFT	1 (20,0%)

**Limits**  
NDFT 320,0 µm

## Prilog 17. Debljina suhog filma drugog premaza za testnu ploču 5 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 2. premaza)  
Testna pločica br. 5 - PP ručni papir - DSF prije trećeg premaza



<b>Project</b>	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad
<b>Gauge</b>	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

<b>Probe</b>	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

<b>Batch</b>	
Name in Gauge	Batch 11
User ID	Testna pločica br. 5 - PP ručni papir -
Created Date	17.6.2020, 13:32:30
Updated Date	17.6.2020, 13:32:30
First Reading Date	17.6.2020, 13:32:33
Last Reading Date	17.6.2020, 13:33:23

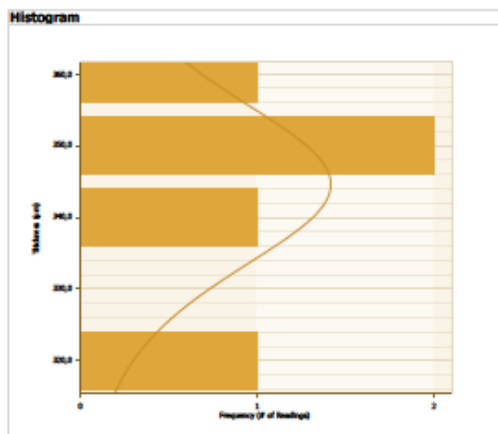
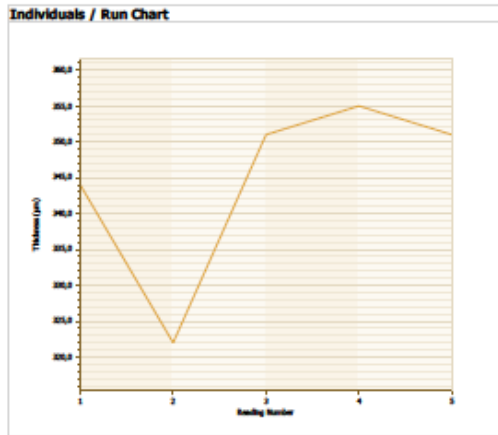
<b>Statistics</b>	
# Readings	5
Mean	314,80 µm
Minimum	310,0 µm
Maximum	320,0 µm
Standard Deviation	4,60 µm
+3σ	328,6 µm
-3σ	301,0 µm
Coefficient of Variation	1,5%
# Readings < NDFT	4 (80,0%)
# Readings >= NDFT	1 (20,0%)

<b>Limits</b>	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 18. Debljina suhog filma drugog premaza za testnu ploču 6 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 2. premaza)  
Testna ploča br. 6 - PP bez pripreme - DSF prije trećeg premaza



**Project**  
Name Eugen Alviž - Diplomski rad

**Gauge**  
Type Elcometer 456/4  
PCB Serial #  
Serial # ME07956  
User ID

**Probe**  
Type F2  
Serial # ME01373  
Calibration Method Zero

**Batch**  
Name in Gauge Batch 12  
User ID Testna ploča br. 6 - PP bez pripreme  
Created Date 17.6.2020, 13:33:29  
Updated Date 17.6.2020, 13:33:29  
First Reading Date 17.6.2020, 13:33:32  
Last Reading Date 17.6.2020, 13:33:39

**Statistics**

# Readings	5
Mean	344,60 µm
Minimum	322,0 µm
Maximum	355,0 µm
Standard Deviation	13,24 µm
+3σ	384,3 µm
-3σ	304,9 µm
Coefficient of Variation	3,8%
# Readings < NDFT	0 (0,0%)
# Readings >= NDFT	5 (100,0%)

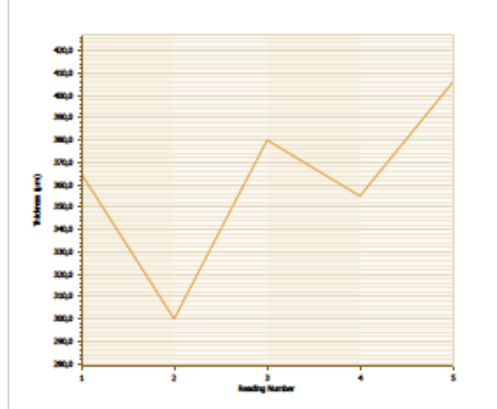
**Limits**  
NDFT 320,0 µm

## Prilog 19. Debljina suhog filma završnog premaza za testnu ploču 1 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

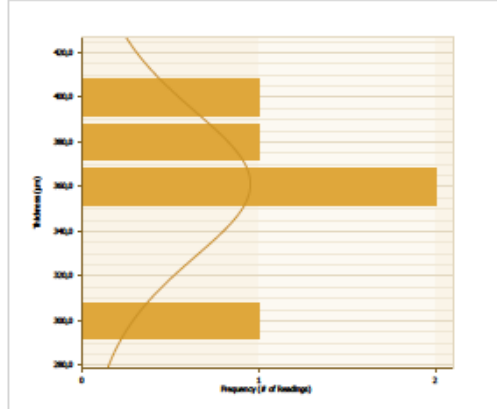
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad\DSF 3. premaza\  
Testna pločica br. 1 - PP Sa3 - DSF završnog premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	Batch 13
User ID	Testna pločica br. 1 - PP Sa3 - DSF zav
Created Date	25.6.2020. 10:42:44
Updated Date	25.6.2020. 10:42:44
First Reading Date	25.6.2020. 10:42:53
Last Reading Date	25.6.2020. 10:43:19

Statistics	
# Readings	5
Mean	361,20 µm
Minimum	300,0 µm
Maximum	406,0 µm
Standard Deviation	39,24 µm
+3σ	478,9 µm
-3σ	243,5 µm
Coefficient of Variation	10,9%
# Readings < NDFT	1 (20,0%)
# Readings >= NDFT	4 (80,0%)

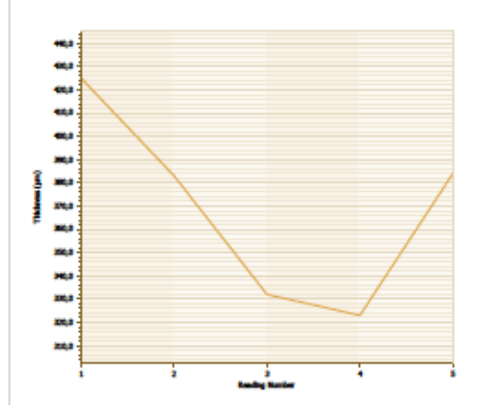
Limits	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 20. Debljina suhog filma završnog premaza za testnu ploču 2 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

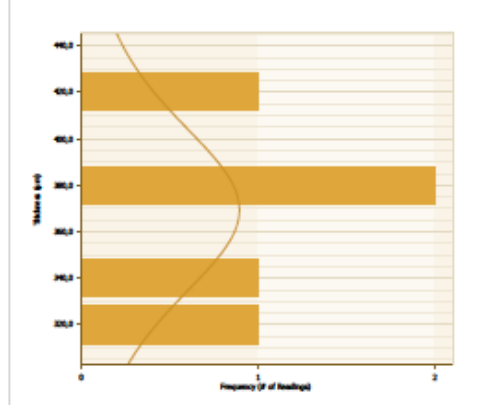
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 3. premaza)  
Testna pločica br. 2 - PP sa2,5 - DSF završnog premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



<b>Project</b>	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

<b>Gauge</b>	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

<b>Probe</b>	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

<b>Batch</b>	
Name in Gauge	Batch 14
User ID	Testna pločica br. 2 - PP sa2,5 - DSF z
Created Date	25.6.2020. 10:43:33
Updated Date	25.6.2020. 10:43:33
First Reading Date	25.6.2020. 10:43:36
Last Reading Date	25.6.2020. 10:43:44

<b>Statistics</b>		
# Readings		5
Mean		369,40 µm
Minimum		323,0 µm
Maximum		425,0 µm
Standard Deviation		41,96 µm
+3σ		495,3 µm
-3σ		243,5 µm
Coefficient of Variation		11,49%
# Readings < NDFT		0 (0,0%)
# Readings >= NDFT		5 (100,0%)

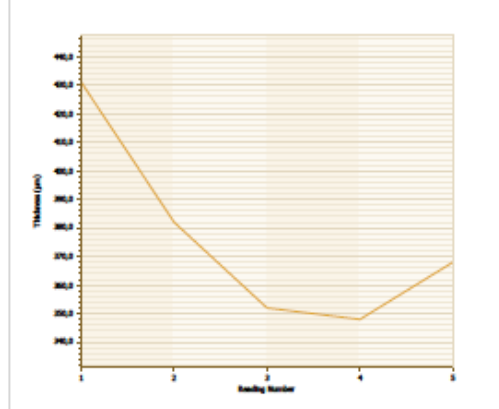
<b>Limits</b>	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 21. Debljina suhog filma završnog premaza za testnu ploču 3 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

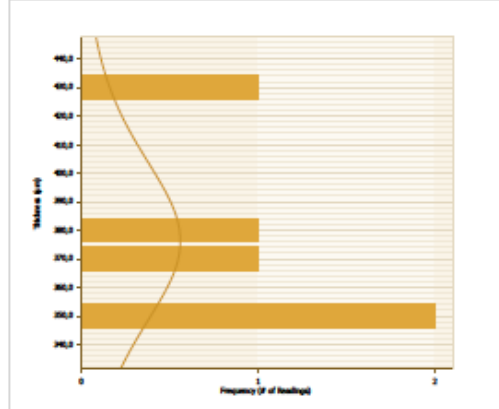
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 3. premaza)  
Testna pločica br. 3 - PP St3 - DSF završnog premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



<b>Project</b>	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

<b>Gauge</b>	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

<b>Probe</b>	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

<b>Batch</b>	
Name in Gauge	Batch 15
User ID	Testna pločica br. 3 - PP St3 - DSF zav
Created Date	25.6.2020. 10:43:49
Updated Date	25.6.2020. 10:43:49
First Reading Date	25.6.2020. 10:43:52
Last Reading Date	25.6.2020. 10:43:59

<b>Statistics</b>	
# Readings	5
Mean	376,20 µm
Minimum	348,0 µm
Maximum	431,0 µm
Standard Deviation	33,48 µm
+3σ	476,7 µm
-3σ	275,7 µm
Coefficient of Variation	8,9%
# Readings < NDFT	0 (0,0%)
# Readings >= NDFT	5 (100,0%)

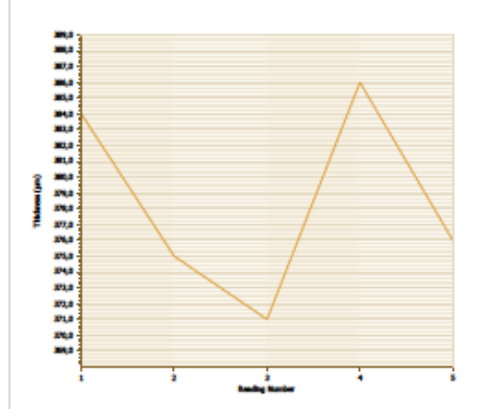
<b>Limits</b>	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 22. Debljina suhog filma završnog premaza za testnu ploču 4 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

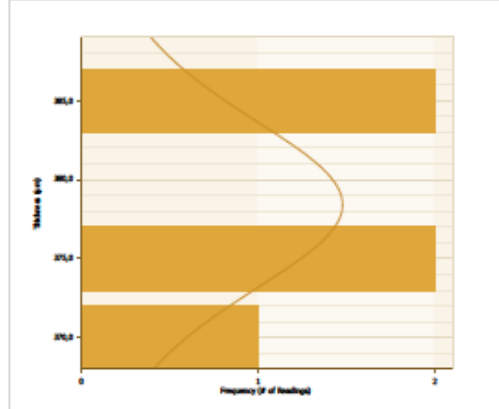
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 3. premaza)  
Testna pločica br. 4 - PP St2 - DSF završnog premaza

Individuals / Run Chart



Histogram



<b>Project</b>	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

<b>Gauge</b>	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

<b>Probe</b>	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

<b>Batch</b>	
Name in Gauge	Batch 16
User ID	Testna pločica br. 4 - PP St2 - DSF zav
Created Date	25.6.2020. 10:44:03
Updated Date	25.6.2020. 10:44:03
First Reading Date	25.6.2020. 10:44:06
Last Reading Date	25.6.2020. 10:44:12

<b>Statistics</b>	
# Readings	5
Mean	378,40 µm
Minimum	371,0 µm
Maximum	386,0 µm
Standard Deviation	6,35 µm
+3σ	397,4 µm
-3σ	359,4 µm
Coefficient of Variation	1,7%
# Readings < NDFT	0 (0,0%)
# Readings >= NDFT	5 (100,0%)

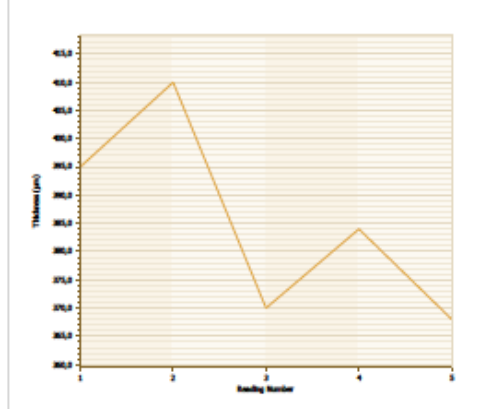
<b>Limits</b>	
NDFT	320,0 µm

## Prilog 23. Debljina suhog filma završnog premaza za testnu ploču 5 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

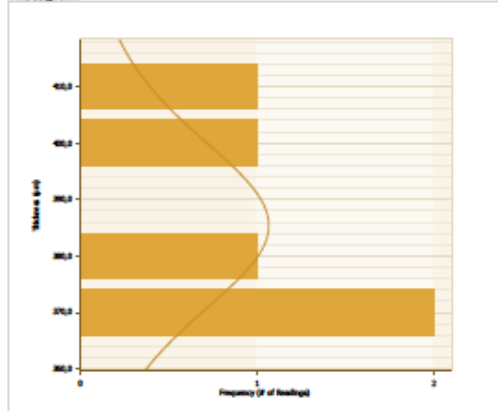
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 3. premaza)  
Testna pločica br. 5 - PP ručni papir - DSF završnog premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



Project	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

Gauge	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

Probe	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

Batch	
Name in Gauge	Batch 17
User ID	Testna pločica br. 5 - PP ručni papir -
Created Date	25.6.2020. 10:44:16
Updated Date	25.6.2020. 10:44:16
First Reading Date	25.6.2020. 10:44:18
Last Reading Date	25.6.2020. 10:44:39

Statistics	
# Readings	5
Mean	385,40 µm
Minimum	368,0 µm
Maximum	410,0 µm
Standard Deviation	17,60 µm
+3σ	438,2 µm
-3σ	332,6 µm
Coefficient of Variation	4,6%
# Readings < NDFT	0 (0,0%)
# Readings >= NDFT	5 (100,0%)

Limits	
NDFT	320,0 µm

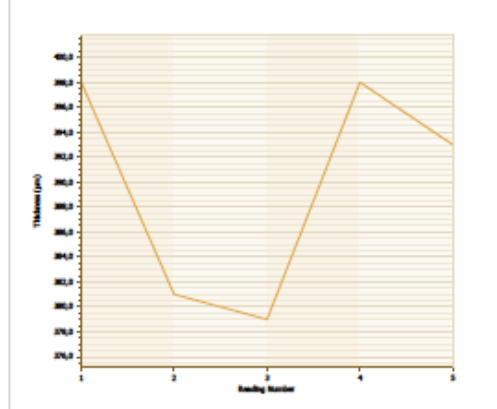


## Prilog 24. Debljina suhog filma završnog premaza za testnu ploču 6 određena mjernim uređajem Elcometer 456 .

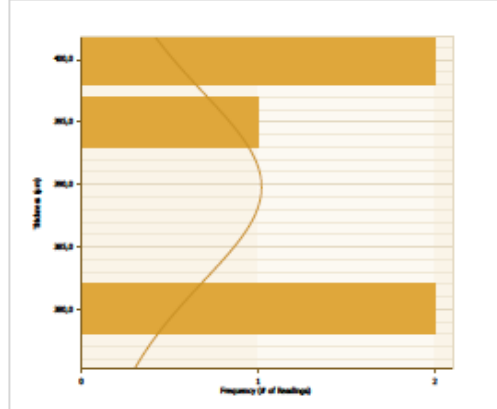
### Inspection Report - Dry Film Thickness

Eugen Alviž - Diplomski rad(DSF 3. premaza)  
Testna pločica br. 6 - PP bez pripreme - DSF završnog premaza

#### Individuals / Run Chart



#### Histogram



<b>Project</b>	
Name	Eugen Alviž - Diplomski rad

<b>Gauge</b>	
Type	Elcometer 456/4
PCB Serial #	
Serial #	ME07956
User ID	

<b>Probe</b>	
Type	F2
Serial #	ME01373
Calibration Method	Zero

<b>Batch</b>	
Name in Gauge	Batch 18
User ID	Testna pločica br. 6 - PP bez pripreme
Created Date	25.6.2020. 10:44:43
Updated Date	25.6.2020. 10:44:43
First Reading Date	25.6.2020. 10:44:46
Last Reading Date	25.6.2020. 10:44:52

<b>Statistics</b>	
# Readings	5
Mean	389,80 µm
Minimum	379,0 µm
Maximum	398,0 µm
Standard Deviation	9,20 µm
+3σ	417,4 µm
-3σ	362,2 µm
Coefficient of Variation	2,4%
# Readings < NDFT	0 (0,0%)
# Readings >= NDFT	5 (100,0%)

<b>Limits</b>	
NDFT	320,0 µm