

# Zaštita automobila premazima

---

Žižek, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:741430>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-06**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Mario Žižek**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Ivan Stojanović, dipl. ing.

Student:

Mario Žižek

Zagreb, 2019.

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

Zahvaljujem se svome mentoru doc. dr. sc. Ivanu Stojanoviću, dipl. ing. na pruženoj pomoći i savjetima prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se svim djelatnicima u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

Zahvaljujem se svojim roditeljima što su mi omogućili studiranje, te prijateljima što su me podržavali na svakom njegovom koraku.

Mario Žižek



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MARIO ŽIŽEK** Mat. br.: 0035195688

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Zaštita automobila premazima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Car paint protection**

Opis zadatka:

Razvojem premaza i postupaka zaštite od korozije u automobilskoj industriji, proizvođačima automobila omogućeno je znatno produljenje trajanja jamstva protiv prohrđavanja i defekata na boji automobila. U radu je potrebno obraditi zaštitne premaze koji se koriste u automobilskoj industriji. Opisati nova tehnološka rješenja i premaze koji se danas uvode u proizvodne procese u cilju skraćivanja vremena prevlačenja automobila, ali i veće otpornosti na različite eksploatacijske uvjete.

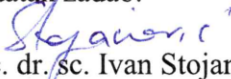
U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je nanijeti sustav premaza za automobile na čelične i aluminijske pločice. Koristiti dvije vrste završnog premaza, klasični i novi završni premaz otporan na ogrebotine. Kod nanošenja premaza koristiti tehniku mokro na mokro i sloj po sloj. Premaze usporedno ispitati u slanoj i vlažnoj komori, te u UV-komori. Ispitati prionjivost i tvrdoću. Rezultate usporediti i dati ocjenu učinkovitosti.

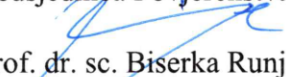
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
02. svibnja 2019.

Rok predaje rada:  
04. srpnja 2019.

Predviđeni datum obrane:  
10. srpnja 2019.  
11. srpnja 2019.  
12. srpnja 2019.

Zadatak zadao:  
  
doc. dr./sc. Ivan Stojanović

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
1. UVOD.....	1
2. NOVITETI KOD PREMAZA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI.....	2
2.1. Očuvanje resursa u predobradi.....	2
2.1.1. Čišćenje dijelova suhim ledom .....	3
2.1.2. Predobrada plastičnih dijelova plamenom .....	5
2.2. Nanošenje premaza s manje koraka .....	6
2.2.1. Sustav s tri mokra nanošenja premaza .....	6
2.2.2. Integrirani sustav nanošenja premaza .....	8
2.3. Smanjenje potrošnje premaza .....	10
2.4. Produljivanje trajnosti izgleda novog automobila.....	12
2.4.1. Samočisteći premaz.....	13
2.4.2. Bezbojni lak otporan na ogrebotine .....	14
2.4.2.1. UV sušeni bezbojni lak otporan na ogrebotine .....	19
3. ZAŠTITA NA RADU TIJEKOM NANOŠENJA PREMAZA I PRIPREME POVRŠINE UZORAKA.....	21
4. EKSPERIMENTALNI DIO RADA.....	24
4.1. Priprema uzoraka .....	25
4.2. Ispitni uzorci.....	27
4.3. Mjerenje debljine suhog filma premaza.....	38
4.3.1. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza.....	39
4.4. Ispitivanje sjaja premaza .....	42
4.4.1. Rezultati ispitivanja sjaja premaza.....	43
4.4.2. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na ogrebotine i UV svjetlo .....	46
4.5. Ispitivanje premaza u uvjetima vlažne komore.....	49
4.5.1. Rezultati ispitivanja premaza u uvjetima vlažne komore .....	51
4.6. Ispitivanje premaza u uvjetima slane komore.....	55
4.6.1. Rezultati ispitivanja mjehuravosti premaza u uvjetima slane komore.....	56
4.6.2. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore .....	60
4.7. Ispitivanje prionjivosti premaza.....	67
4.7.1. Ispitivanje prionjivosti premaza Cross-cut testom.....	67
4.7.1.1. Rezultati ispitivanje prionjivosti premaza Cross-cut testom.....	69
4.7.2. Ispitivanje prionjivosti premaza Pull-off testom.....	75
4.7.2.1. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom .....	77
4.8. Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama.....	85
4.8.1. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama .....	86
4.9. Ispitivanje otpornosti premaza na udar .....	92
4.9.1. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar .....	93
4.10. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija .....	100
4.10.1. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom.....	101
5. ZAKLJUČAK.....	112
LITERATURA.....	114
PRILOZI.....	114

## POPIS SLIKA

Slika 1. Čišćenje suhim ledom [7] .....	3
Slika 2. Predobrada plamenom [11] .....	5
Slika 3. Slojevi kod konvencionalnog sustava nanošenja premaza [14].....	6
Slika 4. Sustav s tri mokra nanošenja premaza [13] .....	7
Slika 5. Integrirani sustav nanošenja premaza [14].....	8
Slika 6. Usporedba potrošene energije [14] .....	9
Slika 7. Električni izolacijski sustav na robotskoj ruci [6].....	10
Slika 8. Elektrostatički rotirajući atomizer [17] .....	11
Slika 9. Nanošenje premaza elektrostatičkim rotirajućim atomizerima [10] .....	11
Slika 10. Usporedba novih i starih vrata (lijevo – nova vrata, desno – stara vrata) [18] .....	12
Slika 11. Samočišćeći premaz [18] .....	13
Slika 12. Vrste polimernih matrica [16].....	15
Slika 13. Prikaz elastičnog oporavka bezbojnog laka otpornog na ogrebotine [21] .....	16
Slika 14. Usporedba oštećenja bezbojnog laka [16].....	17
Slika 15. Usporedba ogrebotina standardnog bezbojnog laka i bezbojnog laka otpornog na ogrebotine [18] .....	18
Slika 16. UV sušenje bezbojnog laka [22] .....	19
Slika 17. Polumaska s filterom koji ima navoj [23] .....	21
Slika 18. Zaštitna odjeća [24].....	22
Slika 19. Priprema uzoraka prije nanošenja premaza.....	25
Slika 20. Fosfatiranje površine uzoraka maramicama, Glasurit 360-100 Pro Aktiv.....	25
Slika 21. Koraci nanošenja premaza, lakirnica tvrtke Autousluga d.o.o. ....	26
Slika 22. Mjerenje debljine suhog filma premaza.....	38
Slika 23. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza .....	41
Slika 24. Uređaj za ispitivanje sjaja premaza .....	42
Slika 25. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, čelična podloga.....	44
Slika 26. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, aluminijska podloga .....	45
Slika 27. UV komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB.....	46
Slika 28. Leica MZ6 mikroskop, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB.....	46
Slika 29. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na UV svjetlo.....	48
Slika 30. Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori .....	49
Slika 31. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori .....	55
Slika 32. Uzorci pripremljeni za ispitivanje u slanoj komori.....	55
Slika 33. Odstranjivanje premaza oko ureza (lijevo) i mjerenje širine oštećenja (desno) .....	60
Slika 34. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga.....	63
Slika 35. Urezivanje zareza u obliku mrežice .....	67
Slika 36. Čišćenje površine četkom .....	67
Slika 37. Uklanjanje ljepljive trake .....	68
Slika 38. Lijepljenje testnih valjčića i uređaj za ispitivanje .....	75
Slika 39. Čišćenje viška lijepila .....	76
Slika 40. Ispitivanje prionjivosti Pull-off testom .....	76
Slika 41. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga .....	79
Slika 42. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga .....	83
Slika 43. Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama.....	85
Slika 44. Ispitivanje otpornosti premaza na udar .....	92

---

Slika 45. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga.....	95
Slika 46. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga .....	98
Slika 47. Ispitivanje elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom.....	100
Slika 48. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga.....	106
Slika 49. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga.....	111



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, nanošeno mokro na mokro	27
Tablica 2. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, s brušenjem punila .....	28
Tablica 3. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, s temeljnim premazom, nanošeno mokro na mokro .....	29
Tablica 4. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, s temeljnim premazom i brušenjem punila .....	30
Tablica 5. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, fosfatiranje podloge, nanošeno mokro na mokro .....	31
Tablica 6. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, nanošeno mokro na mokro.....	32
Tablica 7. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, nanošeno mokro na mokro.....	33
Tablica 8. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, s brušenjem punila .....	34
Tablica 9. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, s temeljnim premazom, nanošeno mokro na mokro .....	35
Tablica 10. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, s temeljnim premazom i brušenjem punila .....	36
Tablica 11. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge, nanošeno mokro na mokro .....	37
Tablica 12. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza .....	39
Tablica 13. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza .....	40
Tablica 14. Vrste površine prema sjaju [26] .....	43
Tablica 15. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, čelična podloga .....	43
Tablica 16. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, aluminijska podloga .....	44
Tablica 17. Ogrebotine na uzorcima .....	47
Tablica 18. Rezultati ispitivanja sjaja premaza prije i nakon UV komore.....	48
Tablica 19. Moguće stanje površine nakon izlaganja uvjetima vlažne i slane komore [28]....	50
Tablica 20. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore .....	51
Tablica 21. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore .....	52
Tablica 22. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore .....	53
Tablica 23. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore .....	54
Tablica 24. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore .....	56
Tablica 25. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore .....	57
Tablica 26. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore .....	58
Tablica 27. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore .....	59
Tablica 28. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga.....	61
Tablica 29. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga.....	62
Tablica 30. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga.....	63
Tablica 31. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, aluminijska podloga .....	64
Tablica 32. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, aluminijska podloga .....	65
Tablica 33. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, aluminijska podloga .....	66

Tablica 34. Ocjena rezultata Cross-cut testa prema normi ISO 2409 [27] .....	68
Tablica 35. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, čelična podloga, punilo naneseo izravno na metal.....	69
Tablica 36. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, čelična podloga, naneseo temeljni premaz .....	70
Tablica 37. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, čelična podloga, fosfatiranje podloge .....	71
Tablica 38. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, aluminijska podloga, punilo naneseo izravno na metal.....	72
Tablica 39. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, aluminijska podloga, naneseo temeljni premaz .....	73
Tablica 40. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge .....	74
Tablica 41. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga, punilo naneseo izravno na metal.....	77
Tablica 42. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga, naneseo temeljni premaz .....	78
Tablica 43. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga, fosfatiranje podloge .....	79
Tablica 44. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga, punilo naneseo izravno na metal .....	81
Tablica 45. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga, naneseo temeljni premaz .....	82
Tablica 46. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge .....	83
Tablica 47. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, čelična podloga, punilo naneseo izravno na metal .....	86
Tablica 48. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, čelična podloga, naneseo temeljni premaz .....	87
Tablica 49. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, čelična podloga, fosfatiranje podloge .....	88
Tablica 50. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, aluminijska podloga, punilo naneseo izravno na metal.....	89
Tablica 51. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, aluminijska podloga, naneseo temeljni premaz .....	90
Tablica 52. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge .....	91
Tablica 53. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga, punilo naneseo izravno na metal .....	93
Tablica 54. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga, naneseo temeljni premaz .....	94
Tablica 55. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga, fosfatiranje podloge .....	95
Tablica 56. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga, punilo naneseo izravno na metal.....	96
Tablica 57. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga, naneseo temeljni premaz .....	97
Tablica 58. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge .....	98
Tablica 59. Parametri EIS ispitivanja.....	101

---

Tablica 60. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga, punilo izravno na metal .....	102
Tablica 61. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga, temeljni premaz .....	103
Tablica 62. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga, fosfatiranje podloge .....	104
Tablica 63. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga .....	105
Tablica 64. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga, punilo izravno na metal .....	107
Tablica 65. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga, temeljni premaz .....	108
Tablica 66. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge .....	109
Tablica 67. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga .....	110

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
C	mm	Ukupna širina korozije koja je zahvatila ispitno područje
C	F/cm <sup>2</sup>	Kapacitet premaza
E <sub>OCP</sub>	mV	Potencijal otvorenog strujnog kruga
M	mm	Indeks korozivnosti površine ispod premaza
Q <sub>1-n</sub>	-	Svojstva kapacitivnog sloja
Q <sub>1-y</sub>	F/cm <sup>2</sup>	Kapacitet premaza
Q <sub>2-n</sub>	-	Svojstva kapacitivnog sloja
Q <sub>2-y</sub>	F/cm <sup>2</sup>	Kapacitet dvosloja
R <sub>1</sub>	Ωcm <sup>2</sup>	Otpor elektrolita
R <sub>2</sub>	Ωcm <sup>2</sup>	Otpor premaza
R <sub>3</sub>	Ωcm <sup>2</sup>	Otpor osnovnog metala
R <sub>uk</sub>	MΩcm <sup>2</sup>	Ukupni otpor
W	mm	Širina reza skalpela

## **SAŽETAK**

Rad se sastoji od dva dijela, teoretskog i eksperimentalnog dijela.

U teorijskom dijelu rada su opisana nova tehnološka rješenja i premazi koji se danas uvode u proizvodne procese u cilju skraćivanja vremena prevlačenja automobila, ali i veće otpornosti na različite eksploatacijske uvjete. Posebna pozornost u ovome radu je dana završnome bezbojnom premazu otpornom na ogrebotine.

U eksperimentalnom dijelu rada proveden je niz ispitivanja sustava premaza, koji su nanijeti na pločice od niskougličnog konstrukcijskog čelika i aluminijskog. Ispitana su fizikalna i korozivna svojstva sustava premaza u slanoj, vlažnoj i UV komori, te su dane ocjene učinkovitosti zaštite. Sustavi premaza također su ispitani elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom kako bi se odredio otpor premaza.

Ključne riječi: mokro na mokro, bezbojni premaz otporan na ogrebotine, elastični povrat, vodorazrjedivi premazi, poliuretanski premazi, akrilni premazi

## **SUMMARY**

This study consists of two parts, first is theoretical and the second is experimental.

Theoretical part of the paper describes the new technological solutions and coatings that are being introduced today in production processes in order to reduce the time of car coatings, but also greater resistance to different exploitation conditions. Particular attention in this paper is given to the finished scratch-resistant clear coat.

In the experimental part of the work a series of system tests were carried out, which were applied on low-carbon steel and aluminum plates. Physical and corrosion properties of the coating system in salt spray, humidity and UV chamber were evaluated, and values of protection efficiency are provided. The coating systems were also tested by electrochemical impedance spectroscopy to determine the resistance of the coating.

Keywords: wet on wet, scratch-resistant clear coat, reflow effect, waterborne coatings, polyurethane coatings, acrylic coatings

## 1. UVOD

Zaštita od korozije premazima je osnovna metoda zaštite metalnih konstrukcija, pri čemu zaštitni premazi redovito moraju biti otporni i na druge vrste oštećivanja materijala.

Najrasprostraniji je način zaštite, ali i relativno jeftin u usporedbi s drugim vrstama zaštite.

Najčešći materijal koji se koristi za izradu karoserija automobila su čelični limovi povišene čvrstoće koji su mikrolegirani, ali nemaju dovoljnu korozijsku otpornost pa ih je potrebno zaštititi premazima [1, 2].

Boja i sjaj automobilskeg premaza igraju važnu ulogu u odlučivanju potencijalnog kupca automobila. Procjenjuje se da je jedan od četiri kupca automobila spreman zamijeniti automobil zbog posebno atraktivnog premaza. Međutim, čak i najljepši premaz pati od mnogih vanjskih utjecaja kojima je izložen tijekom svog životnog vijeka. Ako su ogrebotine velike, automobilski premaz može izgledati dosadno i neprivlačno. Zadatak završnog laka, najgornjeg od četiri sloja automobilskeg premaza, je pružiti zaštitu od ovog mehaničkog trošenja i klimatskih utjecaja [3].

Jači, robusniji i napredniji premazi važni su kako bi se zadovoljili i potrošački i industrijski zahtjevi. Statistike pokazuju da ljudi duže zadržavaju svoje automobile i žele da ostanu kao tek kupljeni, a kako bi se to ostvarilo potrebno je poboljšati izdržljivost premaza. Izdržljivost premaza spada među tri najvažnija zahtjeva kod proizvođača originalne opreme, a 60 % svih pritužbi kupaca automobila pripisuju se ogrebotinama premaza i odlomljavanju istog. Kako bi se ispunili industrijski i potrošački zahtjevi potrebni su jači, robusniji i napredniji premazi [4].

Bitni faktori koji dovode do korištenja naprednih premaza su; estetske karakteristike, zaštita od korozije, masovna proizvodnja, troškovi i ekološki zahtjevi te izgled i izdržljivost premaza. Razvojem premaza i postupaka zaštite korozije na automobilima, proizvođačima je omogućeno povećanje otpornosti na koroziju i samim time znatno produljeno trajanje jamstva protiv prohrđavanja i defekata na boji automobila [2, 5].

## 2. NOVITETI KOD PREMAZA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

Dobavljači tehnologije premaza nude uzbudljiva inovativna rješenja za izazove s kojima se suočavaju proizvođači originalne opreme. Spektar rješenja se kreće od predobrade, opreme i primjene tehnologije i sustava za bojanje, sve do unaprijed obojenih folija za proizvodnju komponenti. Bilo da se radi o kompaktnom automobilu ili luksuznoj limuzini, premazi daju vozilu izgled koji promovira prepoznatljivost marke, a time i dobre prodajne brojke. Apsolutno je neophodna snažna i dugotrajna otpornost na neizbježna mehanička, kemijska i fizička oštećenja tijekom životnog vijeka automobila. Istodobno globalna konkurencija zahtijeva sve učinkovitiji i održiviji proces nanošenja premaza [6].

### 2.1. Očuvanje resursa u predobradi

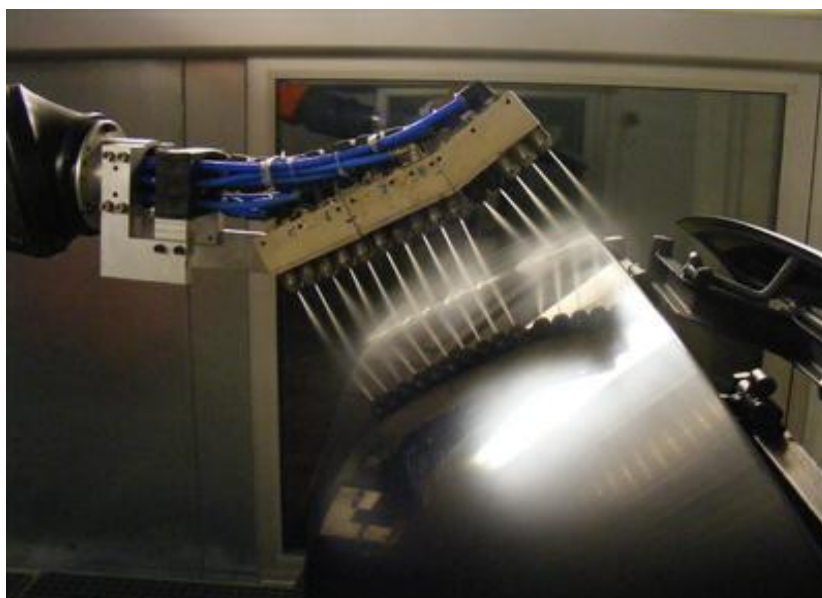
Kako bi se metalnim dijelovima automobila osigurala djelotvorna zaštita od korozije i idealno prijanjanje premaza tijekom predobrade izvodi se fosfatiranje. Međutim, procesi fosfatiranja koji uključuju upotrebu teških metala sve se više zamjenjuju nano-keramičkim procesima. Taj se trend temelji na ekološkim i ekonomskim prednostima ove tehnologije koja je kompatibilna s mnoštvom metala. Proizvodi su bez teških metala što značajno smanjuje troškove i trud povezan s obradom otpadnih voda, odlaganjem, čišćenjem opreme i održavanjem sustava. Premaz se može primijeniti uranjanjem ili raspršivanjem na sobnoj temperaturi. To rezultira daljnjim smanjenjem troškova. Nove tehnologije, kao što je čišćenje dijelova suhim ledom sve češće zamjenjuju konvencionalne strojeve za predobradu. Uvođenje novih tehnologija predobrade je omogućilo uštedu od čak 50 % za investicijske troškove, 20 % za operativne troškove i do 80 % za potrebe prostora. Također takvi kompaktni sustavi se lako integriraju u proizvodnu liniju za lakiranje [6].



### 2.1.1. Čišćenje dijelova suhim ledom

Kako bi se očistili vanjski dijelovi prije nanošenja temeljnog premaza sve više se koristi sustav za čišćenje suhim ledom, (slika 1.) umjesto visokotlačnog čišćenja vodom. Razlozi za to su poboljšana isplativost, održivost i kvaliteta. Kako čišćenje suhim ledom omogućuje čišćenje vrlo složenih dijelova moguća je veća sloboda u dizajnu dijelova automobila. Razlozi za prebacivanje na čišćenje suhim ledom su slijedeći [7]:

- smanjenja potrošnja energije i vode te tako i proizvodnja samih otpadnih voda
- povećanje ekonomičnosti i kvalitete komponenti.



**Slika 1. Čišćenje suhim ledom [7]**

Proces počinje s tekućim CO<sub>2</sub> pohranjenim pod tlakom koji se pomoću uređaja za proizvodnju suhog leda pretvara u kruti CO<sub>2</sub> (kuglice suhoga leda) temperature oko -79 °C. Kuglice suhoga leda ubacuju se u tok komprimiranog zraka i velikom brzinom projiciraju na ciljenu površinu pomoću posebno dizajnirane nadzvučne dvokomponentne glave za čišćenje. Nakon što kuglice suhog leda udare o površinu nastaje ekstremna razlika u temperaturi (toplinski udar) između nečistoća i temeljne podloge, što dovodi do slabljenja kemijskih i fizičkih veza između površine materijala i podloge. U tom procesu, kombiniranom uporabom mehaničkih, kemijskih i toplinskih svojstava mogu se ukloniti onečišćenja bez da se ikoja zadrži na površini. Kuglice leda nakon udara počinju sublimirati (tj. prelaze iz čvrste faze u plinovito), te se ispušta CO<sub>2</sub> plin velikom brzinom uz površinu koja se čisti.

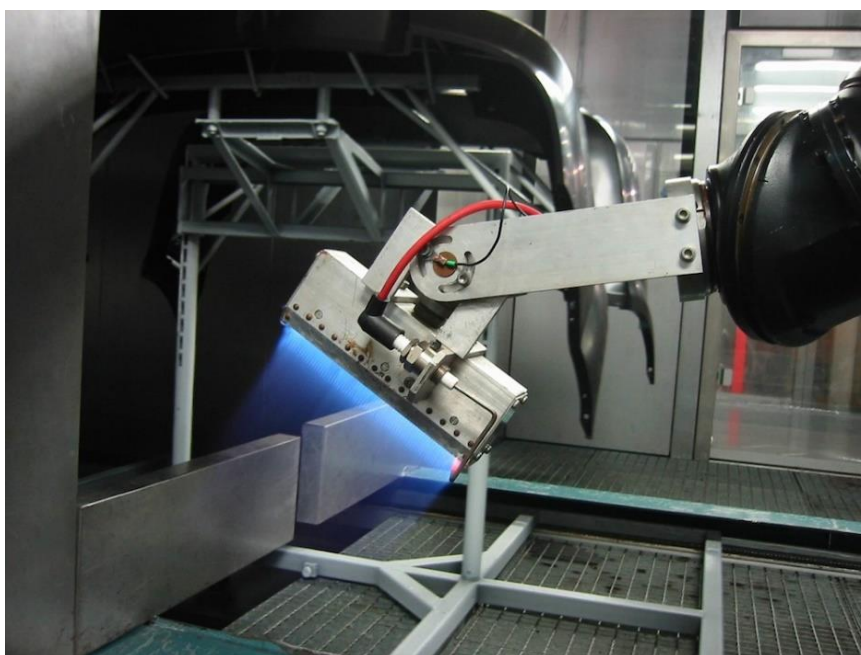
Zbog ugljičnog dioksida, čišćenje kuglicama suhog leda nije abrazivna operacija, te je odlična za dijelove koji su jako osjetljivi. Ovaj proces također pruža izvrsnu pripremu površine prije nanošenja premaza i pogodan je za većinu metala i nekih kompozitnih materijala. Čišćenje i odlaganje otpada je minimalno, jer nakon rada ostaju samo kontaminirani ostatci. Nema tekućeg otpada jer se CO<sub>2</sub> kuglice pretvaraju u plin, ne ostavljajući ostatke. Sustav za čišćenje suhim ledom je dizajniran za čišćenje dijelova svih oblika i veličina napravljenih od različitih materijala. To je dokazano provođenjem mjerenja čestica i izradom optičkih usporedbi i analiza kako bi se otkrili ostaci na površinama kao i obavljenih tehnoloških ispitivanja za procjenu prijanjanja i optičkog izgleda premaza. Sustav za čišćenje suhim ledom karakterizira ekonomičan serijski rad sa značajnim povećanjem iskoristivosti u odnosu na prijašnje metode čišćenja dijelova. Zamjenom visokotlačnog čišćenja vodom za čišćenje suhim ledom, čišćenje nije samo postalo ekonomičnije i povoljnije nego zauzima i manje prostora. Prostorni dobitak koji je rezultat uklanjanja sustava za visokotlačno čišćenje vodom i prateće sušilice koja troši energiju sada je dostupan za druge bitne sustave [7, 8].

### 2.1.2. Predobrada plastičnih dijelova plamenom

Kako bi se što više smanjila težina i cijena automobila sve više dijelova se izrađuje iz plastike. Na nekim modelima automobila čak je oko 30 % vanjskih dijelova izrađeno iz plastike kao što su branici, poklopci prtljažnika, vanjska ogledala i razne ukrasne letvice oko automobila. Plastični dijelovi su napravljeni tako da moraju zadovoljiti određenu funkciju na automobilu, pa su tako branici izrađeni iz visoko fleksibilne, otporne na udarce i jeftine polipropilenske (PP) mješavine. Ti plastični dijelovi se lakiraju na posebno opremljenim linijama u slijedećim koracima [9, 10]:

- čišćenje suhim ledom
- predobrada plamenom kako bi se poboljšala prionjivost
- nanošenje vodorazrjedivog temeljnog laka
- nanošenje otapalnog dvokomponentnog bezbojnog laka.

Kako bi se smanjili troškovi i vrijeme lakiranja plastičnih dijelova sve više se koristi predobrada plamenom, (slika 2.) kojom se eliminira potreba za temeljnim premazom koji poboljšava prionjivost temeljnog laka. Predobrada plamenom ima mnoge prednosti u odnosu na tradicionalne vlažne kemijske i fizikalne postupke predobrade. Predobrada plamenom je izuzetno brza, učinkovita, ekonomična i ekološki prihvatljiva. Kada plamen dolazi u dodir s polipropilenskom (PP) površinom prenosi dodatnu energiju iz plamena kako bi se omogućile naknadne reakcije na površini, koje pak izmjenjuju svojstva površine [9, 10].



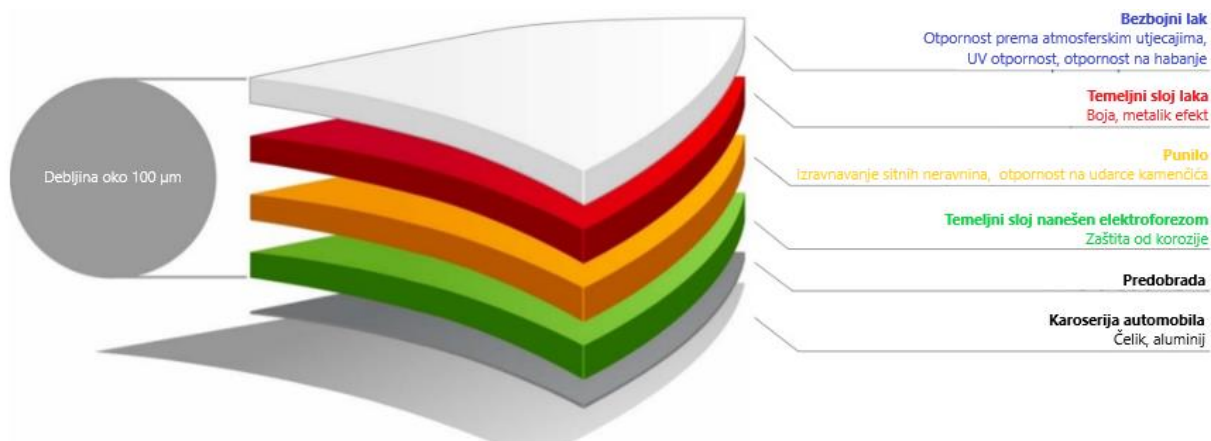
**Slika 2. Predobrada plamenom [11]**

## 2.2. Nanošenje premaza s manje koraka

U premium segmentu kao i za manje jeftinije modele sustavi lakiranja bez punila rastu diljem svijeta u području lakiranja vozila. Funkcija sloja punila obično se ispunjava za ovaj takozvani integrirani sustav pomoću sustava premaza na vodenoj bazi. U usporedbi s uobičajenim postupcima lakiranja, to omogućuje smanjenje potrošnje energije za 15% do 20%, eliminiranjem postupka srednjeg pečenja premaza. U isto vrijeme sustav lakiranja bez punila smanjuje emisiju otapala i eliminira potrebu za nanošenjem sloja punila. U međuvremenu, ove ekonomske i ekološke prednosti pokrenule su trend prema završnoj obradi sa 2 sloja bez vezivnog premaza za premazivanje plastičnih dijelova. Već su na raspolaganju rješenja za unutarnje dijelove automobila dobivenim injekcijskim prešanjem, a komponente dobivaju fini, visoki sjaj samo jednim slojem premaza [6].

### 2.2.1. Sustav s tri mokra nanošenja premaza

Povijesno gledano automobilski sustavi premaza sastojali su se od neke vrste predobrade metalne podloge, alkidnog ili poliesterskog temeljnog premaza, punila i jednoslojnog laka koji su se morali sve ukupno tri puta peći. S vremenom temeljni premazi su zamijenjeni temeljnim premazima nanesenim elektroforezom (E – premaz) što je uvelike poboljšalo zaštitu od korozije. Sljedeći veliki korak bio je uvođenje nanošenja bezbojnih lakova nad temeljnim lakom. Takav postupak je konvencionalni sustav nanošenja premaza i prvo se primjenjivao kod automobila premium klase, a sada se primjenjuje gotovo kod svih automobila kao i većini kamiona, slika 3. [12].

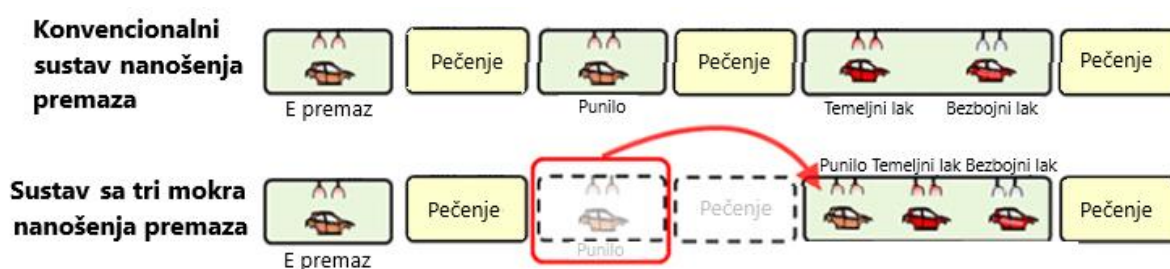


Slika 3. Slojevi kod konvencionalnog sustava nanošenja premaza [14]

Slijedeći napredak kod nanošenja premaza je sustav sa tri mokra nanošenja premaza, slika 4.

Ovaj sustav se sastoji od slijedećih slojeva i postupaka [12, 13]:

1. temeljnog sloja nanesenog elektroforezom
2. pečenja
3. punila
4. temeljnog laka
5. isparavanja
6. bezbojnog laka
7. pečenja.



Slika 4. Sustav s tri mokra nanošenja premaza [13]

Sustav sa tri mokra nanošenja premaza znači da postoje četiri premaza i samo dva pečenja, a ne tri kao kod konvencionalnog sustava nanošenja premaza [12, 13].

Prednosti sustava sa tri mokra nanošenja premaza [12, 13]:

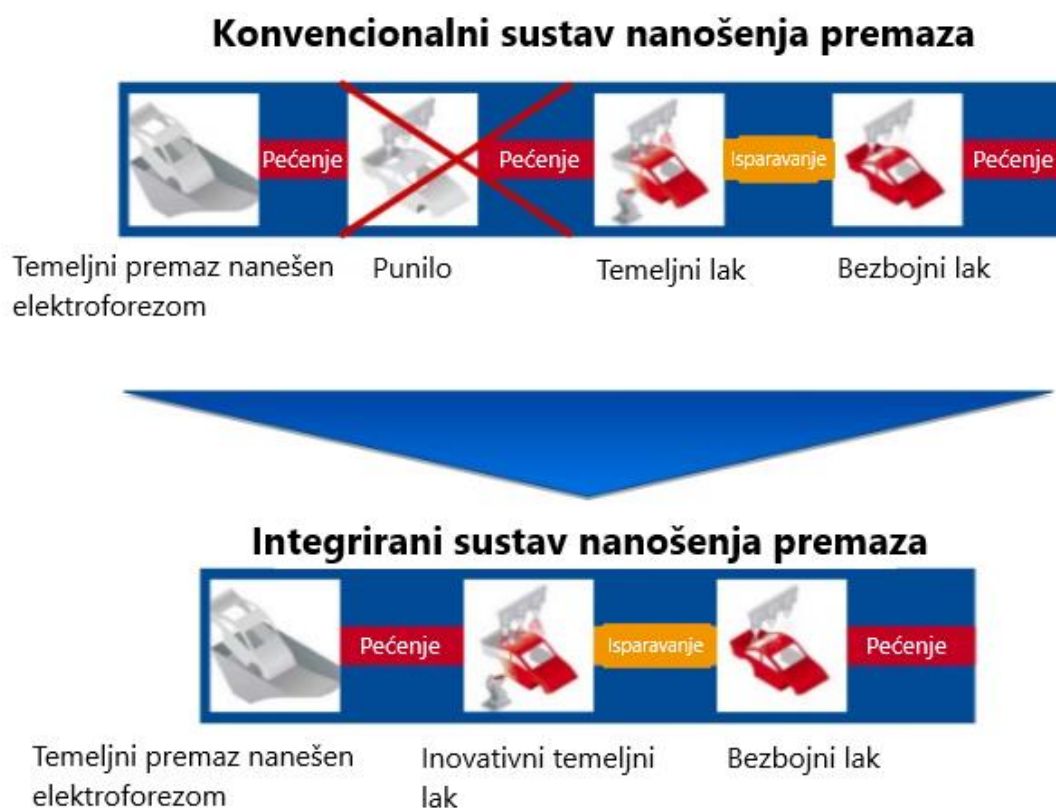
- štedi mnogo novca u izgradnji i pogonu linije za lakiranje
- poboljšava održivost procesa premazivanja
- uklanja potrebu za brušenjem i popravkom punila
- kako nema potrebe za korektivnim brušenjem punila nema stvaranja prljavštine i daljnjih nedostataka.

### 2.2.2. Integrirani sustav nanošenja premaza

Proizvođači automobila su počeli sve više primjenjivati integrirani proces nanošenja premaza kako bi smanjili utjecaj na okoliš i operativni trošak lakiranja automobila. Integrirani sustav nanošenja premaza eliminira samostojeću kabinu za pečenje, slika 5. Kako kod ovog sustava nema punila, nanose se dva temeljna sloja laka umjesto jednog. U A temeljni sloj laka se dodaje modifikator koji mijenja karakteristike temeljnog laka, pa tako poprima funkcije punila kao što su popunjavanje sitnih neravnina, otpornost na udarce kamenčića i UV zaštita temeljnog premaza nanesenog elektroforezom. Nakon A temeljnog laka u istoj kabini za lakiranje bez isparavanja i sušenja se nanosi B temeljni lak koji daje boju i dodatnu izdržljivost [15, 16].

Ovaj sustav nanošenja premaza sastoji se od sljedećih slojeva i postupaka [15, 16]:

1. temeljnog sloja nanesenog elektroforezom
2. pečenja
3. inovativnog temeljnog laka (A i B temeljni lak)
4. isparavanja
5. bezbojnog laka
6. pečenja.

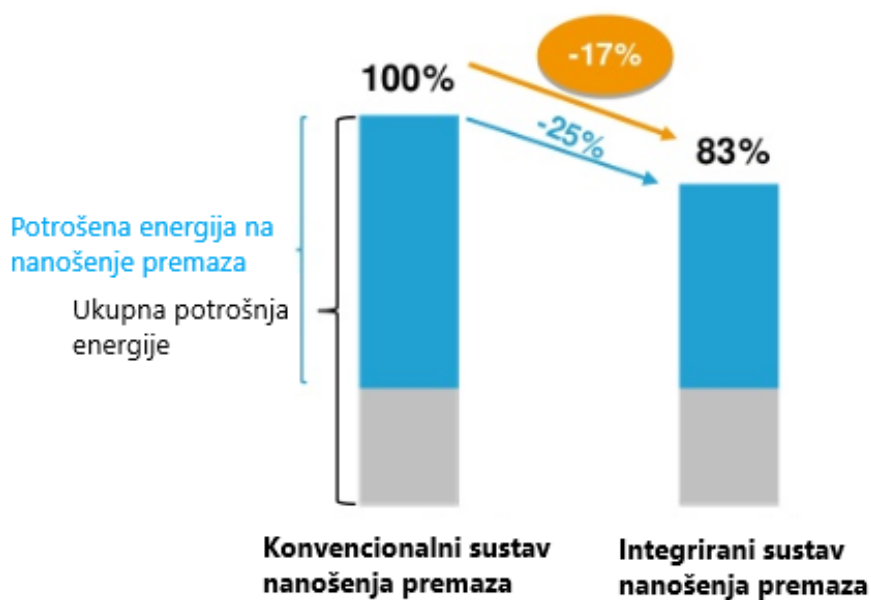


**Slika 5. Integrirani sustav nanošenja premaza [14]**

Do danas integrirani sustavi nanošenja premaza koriste *Medium solid* (sa srednjim udjelom čvrstih tvari) i *High solid* (s visokim udjelom čvrstih tvari) otapalne premaze i vodorazrjeđive premaze koji se sve više koriste [15, 16].

Prednosti integriranog sustava nanošenja premaza [15, 16]:

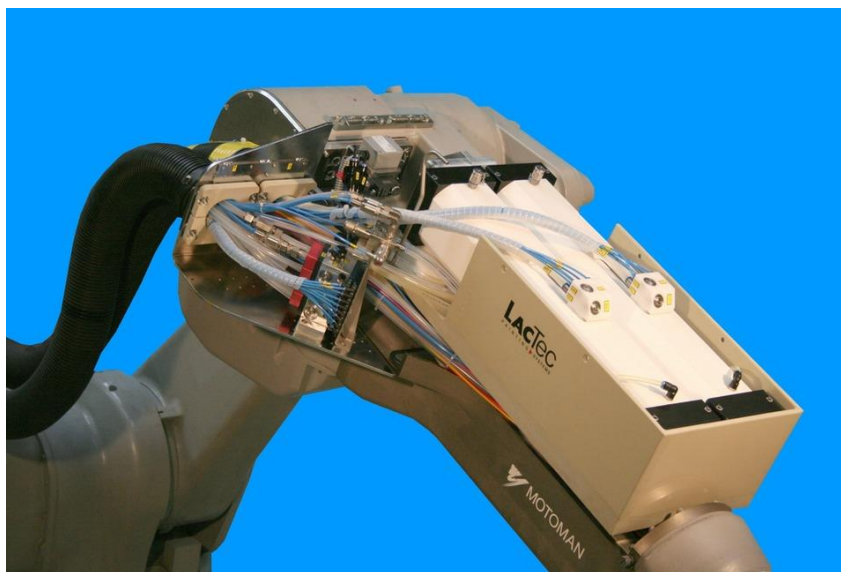
- uklonjena je jedna linija za nanošenje punila
- uklonjena je jedna linija za pečenje punila
- ušteda od oko 30 % kapitalnih ulaganja u linije za lakiranje
- nema potrebe za prostorijom u kojoj se miješa punilo
- smanjenja je složenost sustava za nanošenje premaza
- smanjenja je potrošnja energije za 17 %, slika 6.
- smanjenja je emisija hlapivih organskih spojeva za 10 %
- smanjenja je potrošnja materijala.



Slika 6. Usporedba potrošene energije [14]

### 2.3. Smanjenje potrošnje premaza

Kako bi se ostvarile potencijalne uštede u procesu lakiranja, potrebno je iskorijeniti moguće uzroke gubitaka kao što je prekomjerno raspršivanje premaza, kao i gubitke zbog promjene boje tijekom nanošenja u vodovima za dobavu boje. Uštede ove vrste često se mogu brzo i ciljano implementirati izmjenom specifičnih karakteristika sustava. Kako bi se postigla učinkovitost prijenosa premaza veća od 90 % koristi se uzorak raspršivanja koji je usklađen s geometrijom dijela koji se lakira kao i elektrostatički podržanih pištolja za premaze i brzi rotacijski atomizeri. Kad je riječ o vodorazjedinim premazima, novi električni izolacijski sustavi koji se nalaze izravno na robotskoj ruci također doprinose tom pogledu, slika 7. Oni omogućuju minimiziranu upotrebu sredstava za ispiranje i skraćivanje vremena promjene boje [6].



**Slika 7. Električni izolacijski sustav na robotskoj ruci [6]**

Korištenjem finih uzoraka atomizacije koji se postižu elektrostatičkim rotirajućim atomizatorima velike brzine, (slika 8.) otvara se mogućnost smanjenja brzine spuštanja zraka u kabini za lakiranje, te se povećava ušteda energije. Povećani stupanj automatizacije korištenjem robota za unutarnje lakiranje automobilskih karoserija također dovodi do smanjene potrošnje premaza. Daljnje prednosti uključuju poboljšanu reproduktivnost rezultata lakiranja i manje otpada. Još jedna od prednosti korištenja robota za lakiranje je činjenica da se je lakše prebaciti sa potrebe za svježim zrakom u kabini na recirkulacijski zrak za kondicioniranje kabine za lakiranje te to može rezultirati uštedom energije od 60 % do 70 %. Inteligentna logistika premaza također rezultira smanjenom potrošnjom materijala [6].

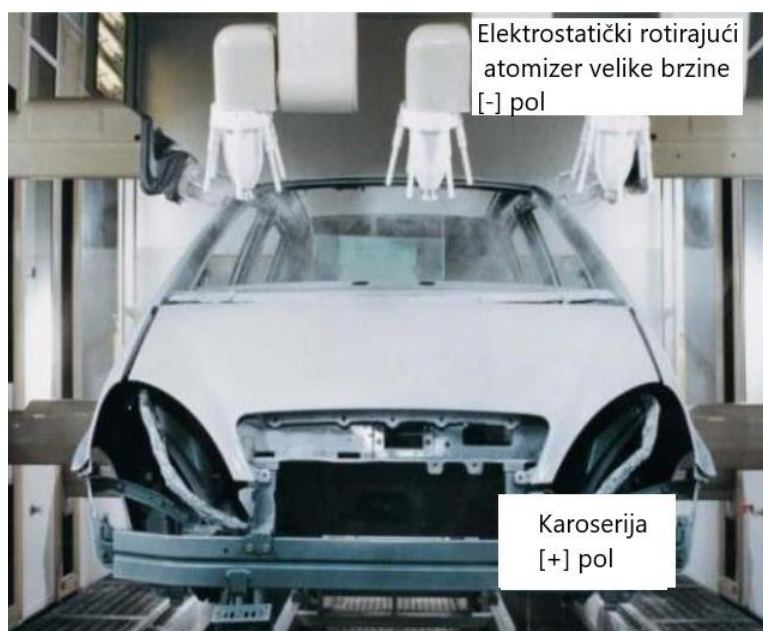


Primjerice, tehnologija čišćenja cijevi omogućuje uporabu neiskorištenog premaza iz napojnih vodova i doziranje određenih količina premaza uređaju za primjenu specijalnih premaza [6].



**Slika 8. Elektrostatički rotirajući atomizer [17]**

Kod nanošenja premaza elektrostatičkim rotirajućim atomizatorima velike brzine, karoserija automobila se priključuje na plus pol, a sapnice za prskanje na minus pol, slika 9. Pozitivno nabijena karoserija automobila privlači negativno nabijene čestice premaza. Zbog razlike naboja u elektrostatičkom polju između sapnice i karoserije magla premaza lako putuje gotovo bez gubitaka. Istosmjerni napon može iznositi i do 200 000 V. Magla laka usmjerava se na karoseriju pomoću stlačenog zraka i elektrostatičkog polja [2].



**Slika 9. Nanošenje premaza elektrostatičkim rotirajućim atomizerima [10]**

## 2.4. Produljivanje trajnosti izgleda novog automobila

Jedna od najbitnijih svojstva visokosjajnih bezbojnih lakova je povećana otpornost na ogrebotine koja pak produljuje novi izgled automobila, slika 10. Inovativna dostignuća su dostupna na ovome području koja kombiniraju prednosti „tvrdih“ anorganskih tvari i „mekih“ organskih tvari. *Nano sol-gel* proces također se koristi za masovnu proizvodnju od strane dobavljača automobilskih dijelova. Taj proces se primjenjuje na eloksirane, dekorativne aluminijske dijelove visokog sjaja kako bi im se pružio prozirni zaštitni sloj koji je vrlo otporan na grebanje. Daljnje primjene *sol-gel* tehnologije trenutno se testiraju u automobilskoj industriji. Značaj UV premaza u automobilskoj industriji i dalje raste za bojanje plastike kao i metalnih podloga. Osim izvrsne otpornosti na grebanje, drugi razlozi za to uključuju mogućnost smanjenja potrošnje energije i sirovina, kao i štetnih emisija. Daljnja prednost je znatno smanjeno vrijeme sušenja premaza. Zahvaljujući UV stvrdnjavanju u atmosferi inertnog plina, maknuta je prepreka pri sušenju velikih složenih komponenti [6].



**Slika 10. Usporedba novih i starih vrata (lijevo – nova vrata, desno – stara vrata) [18]**

### 2.4.1. Samočišćeći premaz

Premaz je formuliran tako da je otporan na ulje i vodu, stvarajući sloj zraka između premaza i prljave tekućine. Zrak sprječava prianjanje prljavštine na površinu automobila, slika 11. Ono što je zanimljivo za ovaj proces je da se događa na razini koja se ne može vidjeti, nano čestice minimiziraju površinu na kojoj prljavština ima tendenciju zadržavanja, također premaz može spriječiti stvaranje snijega, leda i mraza. Da bi bezbojni lak na automobilu mogao odbijati prljavštinu, na njega se nanosi premaz koji stvara kemijsku i strukturalnu površinu s geometrijskim uzorcima koji imaju „vrhove“ ili „visoke točke“. Ovi „vrhovi“ odbijaju vodu, neka ulja, mokri beton i druge tekućine za razliku od bilo kojeg drugog premaza. To je jeftinija alternativa drugim premazima koji koriste površinsku napetost. Ovo je prvi put da se takva tehnologija koristi na automobilu, ali je vrlo uobičajena u drugim proizvodima kao što su krema za sunčanje, pa čak i odjeća koja odbija prljavštinu. Premaz se temelji na premazima koji se prodaju u komercijalne svrhe kao što su premazi za zgrade koje sprečavaju prianjanje grafita [19, 20].



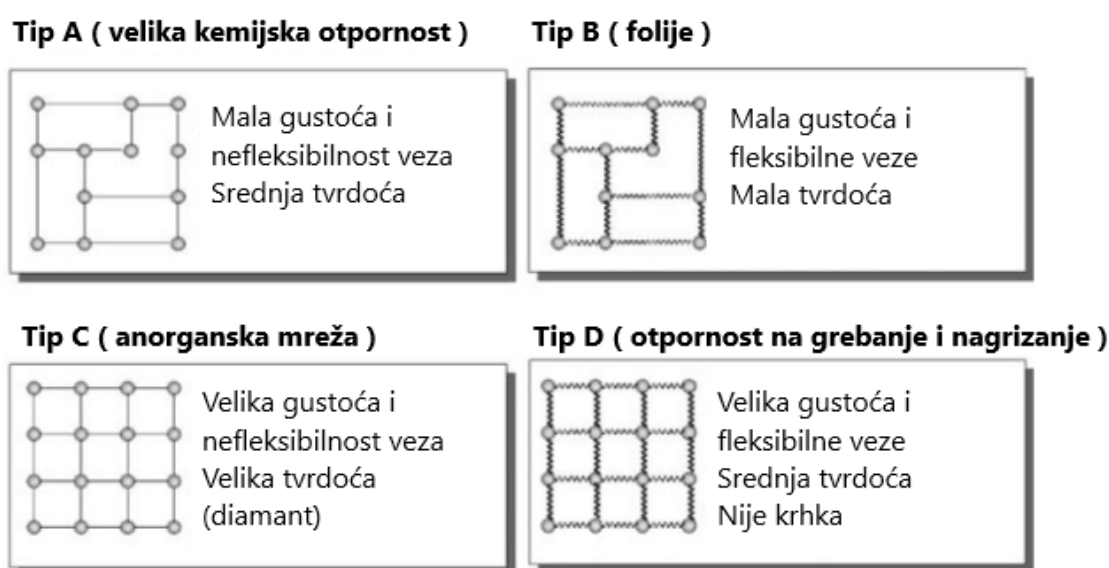
Slika 11. Samočišćeći premaz [18]

### **2.4.2. Bezbojni lak otporan na ogrebotine**

Automobilski premaz pati od mnogih vanjskih utjecaja kojima je izložen tijekom svog životnog vijeka. To uključuje klimatske utjecaje kao što su sunce, kiša, snijeg i temperaturne promjene, također na premaz utječe i sol za posipavanje cesta i ptičji izmet koji isto tako oštećuje premaz. Daljnji problem su sitne ogrebotine na površini koje su uzrokovane prvenstveno pranjem automobila četkama i prljavštinom na automobilu. Ako su ogrebotine velike, automobilski premaz može izgledati neprivlačno. Zadatak završnog laka, najgornjeg od četiri sloja automobilskeg premaza, je pružiti zaštitu od ovog mehaničkog trošenja i klimatskih utjecaja. Kako bi bezbojni lak ispunio svoju zaštitnu funkciju ne smije biti previše tvrd ili pak previše mekan. Ako je završni sloj pretvrd neće pružiti dovoljnu otpornost na atmosferske utjecaje, a postat će krhak i brzo se oljuštiti. S druge strane ako je previše mekan prestaje štiti završni sloj od mikro rastezanja i kemikalija kao što su goriva koja bi mogla namočiti premaz tijekom punjenja goriva. Kako bi se spojile karakteristike od tvrdog i mekanog laka, razvijen je novi inovativan automobilski bezbojni lak otporan na ogrebotine koji nudi najbolje od oba, pružajući automobilu sjajni izgled znatno dulje od standardnih lakova [21].

Otpornost bezbojnog laka na ogrebotine je vezana s gustoćom i elastičnosti veza polimerne matrice premaza, pa tako postoje četiri vrste polimerne matrice, (slika 12.) [16]:

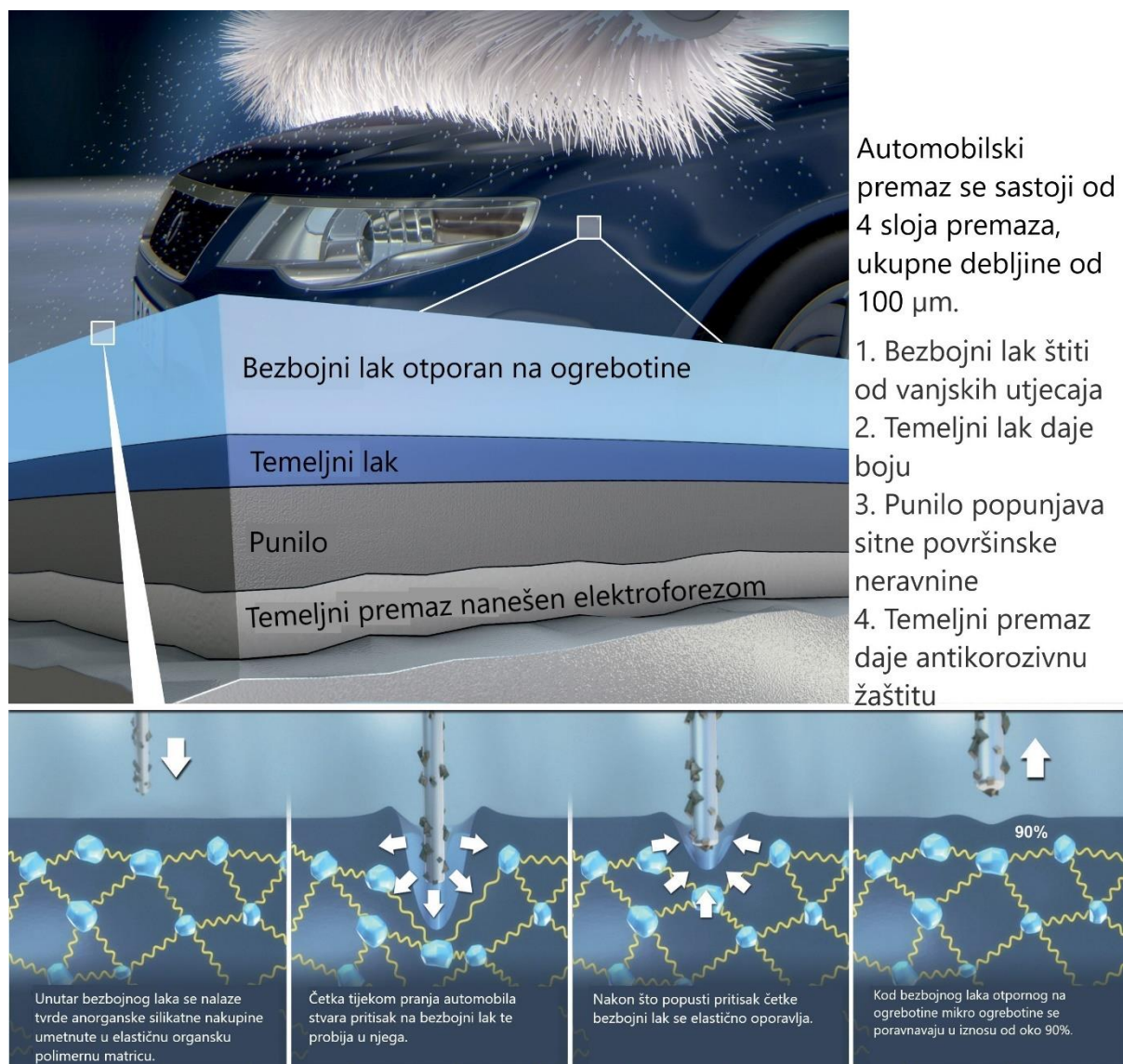
- Tip A – velika otpornost na nagrivanje i loša otpornost na grebanje zbog male gustoće veza
- Tip B – jako fleksibilni premaz koji se upotrebljava kod izrade folija, ima poboljšanu otpornost na ogrebotine, ali lošu otpornost na nagrivanje
- Tip C – ima anorgansku mrežu kakvu ima staklo, pa tako ima dobru otpornost na grebanje, ali je prekrhak za korištenje na automobilima
- Tip D – predstavlja matricu kakvu ima inovativni bezbojni lak koji je otporan na ogrebotine i nagrivanje.



**Slika 12. Vrste polimernih matrica [16]**

Prethodni standardni lakovi za automobile sastojali su se gotovo isključivo od organskog materijala polimera koji je imao razgranate ugljikovodike s dugim lancima. Nasuprot tome inovativni bezbojni lak otporan na ogrebotine kombinira dvije vrste materijala u nano strukturiranom kompozitu. Između 90 % i 95 % kompozitnog materijala, ovisno o području primjene čine organski materijali, a 5 % do 10 % čine anorganski materijali koji zajedno tvore matricu premaza. To čini završni sloj fleksibilnim i elastičnim te osigurava visoku otpornost na vremenske utjecaje [21].

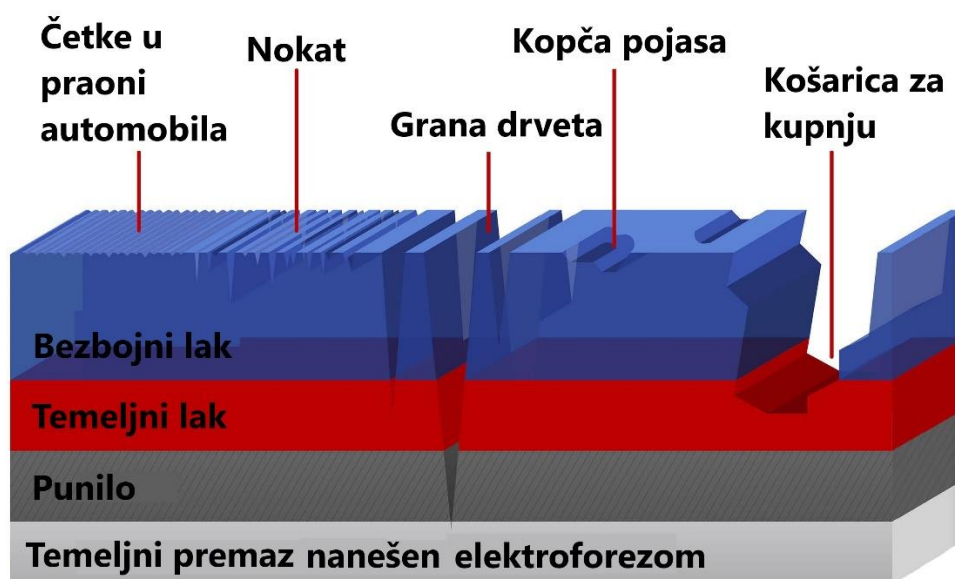
Ovakav oblik matrice premaza je osobito otporna na ogrebotine. Organske i anorganske komponente su kovalentno i elastično vezane. Na taj se način bezbojni lak odmah vraća na oko 90 % od prvobitnog stanja, na primjer, kada ga zagrebe četka za pranje automobila, slika 13. To se naziva elastični oporavak ili *reflow effect*. Uobičajeni bezbojni lakovi nemaju mogućnost elastičnog oporavka pa tako ostaju zauvijek ogrebeni. Zbog takvog svojstva ovog bezbojnog laka mikro ogrebotine koje se pojavljuju su znatno ravnije i stoga manje vidljive [21].



**Slika 13. Prikaz elastičnog oporavka bezbojnog laka otpornog na ogrebotine [21]**

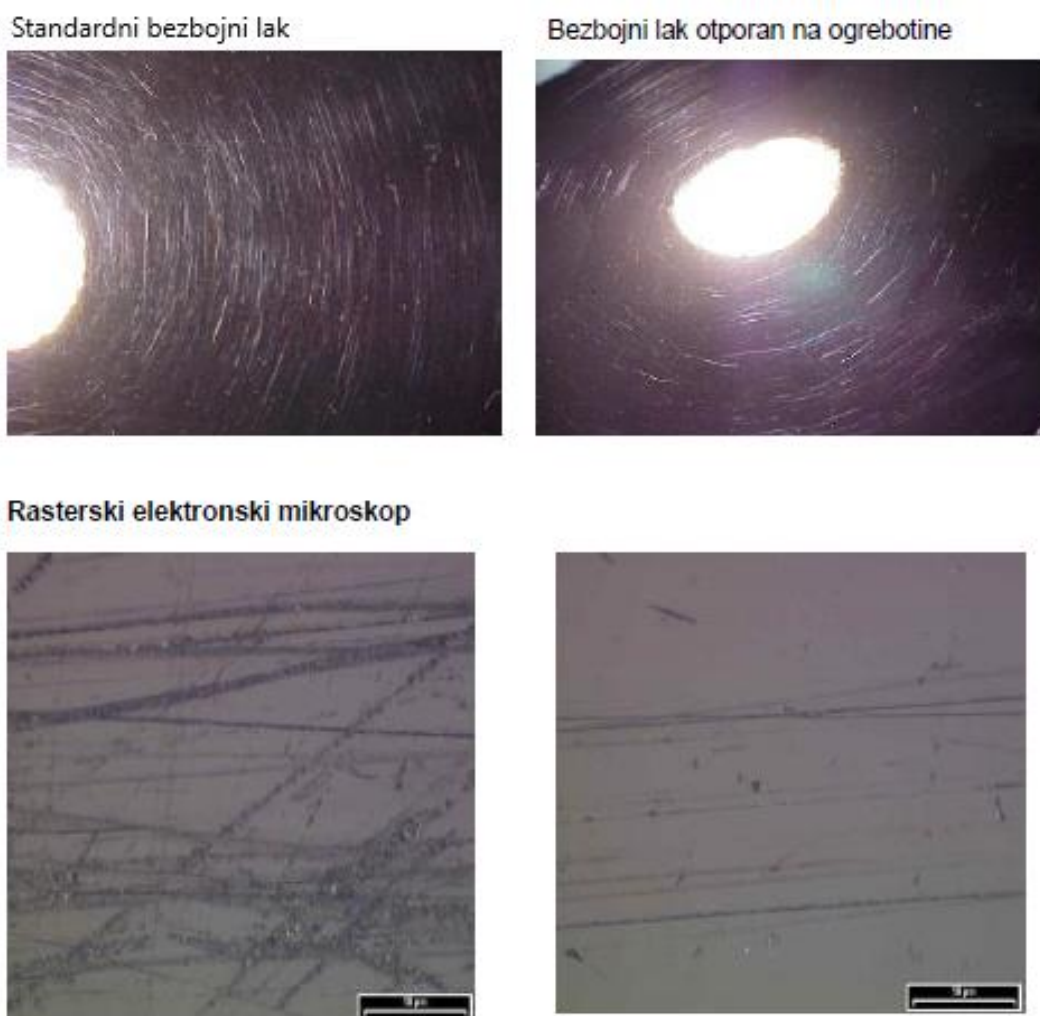
Posebna nano struktura premaza ne nastaje sve dok se premaz uz dodatak učvršćivača zajedno s katalizatorom na površini automobila ne zapeče na temperaturi od oko 140 °C. Ako je potrebno nano struktura se također može formirati na nižim temperaturama ako se odabere pravi katalizatorski sustav. Ovakva nano kompozitna struktura omogućuje postizanje visoke razine dugotrajne otpornosti na ogrebotine, te samim time je i takav premaz znatno otporniji na vremenske prilike i fleksibilniji od drugih visoko umreženih sustava premaza. Ovaj inovativni bezbojni lak otporan na ogrebotine također nudi vrhunsku otpornost na vremenske utjecaje što znači sposobnost izdržavanja sunčevog zračenja, kiše i promjena temperature [21].

Ukoliko se bezbojni lak zagrebe ključevima, kopčom pojasa, granom drveta ili pak dođe do udara košarice za kupnju, (slika 14.) površina laka se lomi i više se ne može vratiti u prvobitni položaj elastičnim oporavkom [16].



Slika 14. Usporedba oštećenja bezbojnog laka [16]

Laboratorijski test u ekstremnim uvjetima s vrlo visokim temperaturama i visokim intenzitetom zračenja pokazao je razliku između inovativnog bezbojnog laka otpornog na ogrebotine i standardnih bezbojnih lakova. Čak i nakon 4500 sati ispitivanja u ekstremnim uvjetima s vrlo visokom temperaturom i visokim intenzitetom zračenja inovativni bezbojni lak otporan na ogrebotine zadržao je većinu svog sjaja. Nasuprot tome standardni bezbojni lakovi izgubili su svoj sjaj i pokazali su pukotine tijekom ovog testa. Praktični testovi u svakodnevnim uvjetima s naknadnim testovima na ogrebotine potvrdili su laboratorijske rezultate kako inovativni bezbojni lak otporan na ogrebotine ostaje sjajan otprilike dva puta duže nego standardni bezbojni lakovi, slika 15. To je dobra vijest za sve vlasnike automobila, ne samo zato što vozila zadržavaju svoj novi izgled duže, nego i zato što inovativni bezbojni lak otporan na ogrebotine omogućuje automobilima da zadrže duže svoju vrijednost [21].



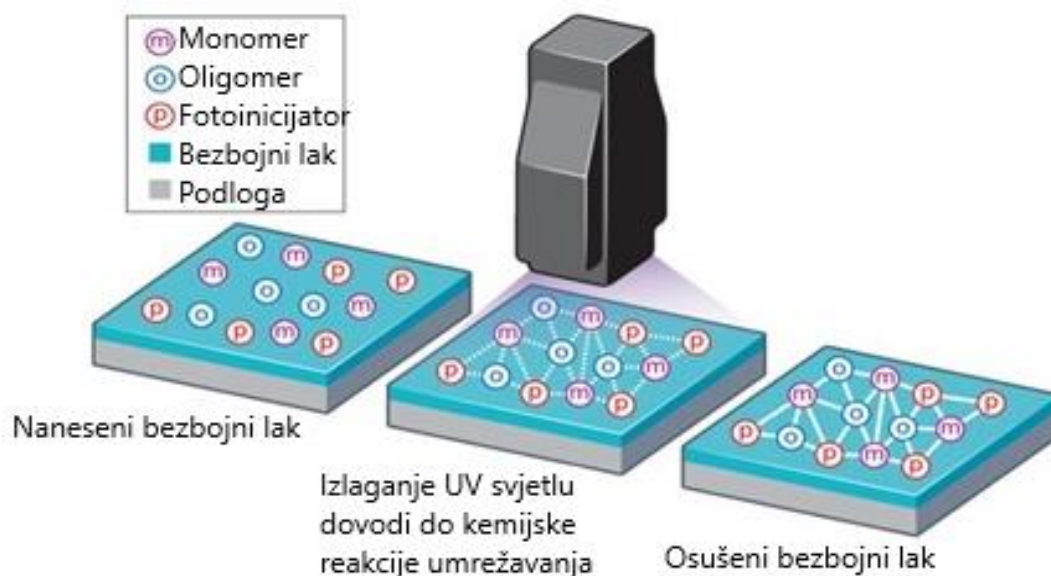
**Slika 15. Usporedba ogrebotina standardnog bezbojnog laka i bezbojnog laka otpornog na ogrebotine [18]**



Unatoč svojoj inovativnoj strukturi, ovaj se bezbojni lak može primijeniti na postojeće linije za lakiranje bez potrebe za većim promjenama. To je potvrđeno uspješnim testovima sa nekoliko proizvođača automobila. Nakon izvanrednih rezultata tijekom probnih testova, koristi se u masovnoj proizvodnji od sredine 2011. godine. Mercedes-Benz je prvi proizvođač automobila koji ga koristi širom svijeta na nekoliko modela. I drugi proizvođači automobila također su izrazili veliko zanimanje. To znači da će u budućnosti i ostali modeli automobila koji ulaze na tržište biti lakirani inovativnim bezbojnim lakom otpornim na ogrebotine [21].

#### 2.4.2.1. UV sušeni bezbojni lak otporan na ogrebotine

Kako bi se omogućila što veća otpornost na ogrebotine potrebna je što veća gustoća veza u polimernoj matrici. Standardni jednokomponentni i dvokomponentni bezbojni lakovi imaju gustoću veza, izraženog preko lossovog modula od 8 do 12 MPa. Pomoću UV sušenja mogu se postignuti puno veći iznosi gustoće veza koji će dovesti do veće otpornosti na grebanje, ali gustoća veza veća od 30 MPa nije potrebna jer ne dovodi do veće otpornosti na grebanje. Velika gustoća veza UV sušenih bezbojnih lakova nudi veću otpornost na grebanje i nagrizanje u odnosu na bezbojne lakove sušene na povišenim temperaturama. UV svjetlo inicira radikalnu polimerizaciju koja dovodi do stvaranja dvostrukih veza u matrici, slika 16. Kod svih proizvođača automobila linije za lakiranje automobila suše bezbojni lak na 140 °C u trajanju od 20 minuta, UV sušeni bezbojni lak sušenje završava za nekoliko sekundi. To linijama za lakiranje omogućava uštede u energiji, vremenu i zagađenju okoliša [16].



Slika 16. UV sušenje bezbojnog laka [22]

Automobili su izrađeni iz vrlo kompleksnih oblika, pa je nemoguće sušenje nekih dijelova koje je nemoguće osvijetliti UV svjetlom. To je dovelo do razvoja „dvostruko sušenih“ bezbojnih lakova kod kojih je umrežavanje veza potpomognuto dodavanjem izocijanata u kombinaciji sa UV iniciranjem radikalnom polimerizacijom. Dok bezbojni lak na vanjskim vidljivim površinama automobila može postići umrežavanje pomoću oba mehanizma, površine koje se nalaze u sjeni umrežavaju pomoću dodanog izocijanata. Kombinacija ovih fotoinicijatora nudi pravu ravnotežu sušenja bezbojnog laka. Uvođenjem UV sušućih bezbojnih lakova omogućilo je skraćivanje vremena sušenja za više od 50 %. Iako UV sušaći bezbojni lakovi nude hladnu sposobnost sušenja premaza, vodorazrjeđivi temeljni lakovi zahtijevaju temperature veće od 100 °C kako bi isparila sva voda i otapala i da se postigne umrežavanje za najbolja svojstva sustava premaza. Kako vodorazrjeđivi temeljni lakovi trebaju povišene temperature za sušenje uklanjanje peći nije moguća [16].

### 3. ZAŠTITA NA RADU TIJEKOM NANOŠENJA PREMAZA I PRIPREME POVRŠINE UZORAKA

Tijekom nanošenja premaza i pripreme površine treba osobito vodi računa o vlastitom zdravlju kao i o mogućim izvorima opasnosti, kao što su zapaljive tekućine i zapaljiva smjesa plinova. Općenito kod nanošenja premaza osobito kod prskanja je potrebno osigurati da ljudi ne budu izloženi plinovima, parama, aerosolima ili maglama u koncentracijama štetnim za njihovo zdravlje. Ta činjenica je ispunjena ako se koncentracija na radnom mjestu nalazi ispod vrijednosti maksimalno dozvoljene koncentracije. Ako se u radnom prostoru ipak povremeno pojave plinovi, pare, aerosoli ili magle u po zdravlju štetnoj koncentraciji, tad treba koristiti zaštitne maske. Koje se zaštitne maske koriste ovisi o koncentraciji štetnih tvari [25].

Vrste zaštitnih maski koje se mogu koristiti [25]:

1. polumaske s filterom bez navoja – dozvoljene su za koncentracije štetnih tvari do 0,1 Vol. % pri čemu mora biti u zraku zagarantirani minimum od 17 % kisika
2. polumaske s filterom koji ima navoj – dozvoljene su za koncentracije štetnih tvari do 0,5 Vol. % pri čemu mora biti u zraku zagarantirani minimum od 17 % kisika, slika 17.
3. maska sa svježim dovodom zraka – ukoliko istovremeno rade minimalno dva lakirera u istome prostoru.



**Slika 17. Polumaska s filterom koji ima navoj [23]**

Pri korištenju zaštitnih filtera, potrebno ih je zamijeniti odmah nakon prve pojave probijanja mirisa. Nekorištene filtere koji su izvađeni iz zaštitnog omota, treba najkasnije nakon pola godine potrošiti [25].

Lakirerima koji su izloženi u velikoj mjeri završnim premazima, potrebno je osigurati odgovarajuću zaštitnu odjeću (antistatičku i nezapaljivu). U zaštitnu odjeću se ubraja slijedeće: zaštitno antistatičko odijelo, rukavice i polumaska. Ukoliko dolazi do pojave jake magle tijekom nanošenja premaza potrebno je korištenje sredstva za zaštitu i pranje kože i ruku. Budući da je odjeća koja je jako onečišćena završnim premazima zapaljiva, pri odabiru radne odjeće treba voditi računa da tekstilni materijal sa visokim postotkom umjetnih vlakana znatno može povećati težinu povreda od opeklina [25].



**Slika 18. Zaštitna odjeća [24]**

Pravila o primjeni mjera zaštite na radu [25]:

1. Zabranjeno pušenje.
2. Ne koristiti otvorenu vatru i svjetlo u prostorijama gdje se nanosi premaz.
3. Spriječiti bilo kakvo stvaranje iskre, isključiti struju kada se mijenjaju žarulje.
4. Ne nositi obuću u čijoj su proizvodnji korišteni čavli, nositi provodljivu odjeću.
5. Ne izlagati usisne vodove plamenu.
6. Ostatke premaza ne spaljivati.
7. Posude s premazima i otapalima ne ostavljati na radiatorima.
8. Za nanošenje premaza ne koristiti komprimirani kisik ili komprimirane zapaljive plinove.
9. Osigurati organizirano zbrinjavanje otpada.

10. U radnoj prostoriji skladištiti količinu premaza za maksimalne potrebe pola radnog dana.
11. Tijekom brušenja osigurati primjereni odvod prašine, a kod nedovoljnog prozračivanja nositi zaštitne maske protiv prašine.
12. Spremne aparate za gašenje i vatrootporne deke osigurati u blizini radnih mjesta.
13. Izlaze za nuždu, prozore i puteve držati slobodnim.
14. Prostoriju za nanošenje premaza držati čiste od prašine.
15. Ruke ne prati otapalima.
16. Redovito koristiti sredstva za pranje, zaštitu i njegu ruku.
17. Prema potrebi, osobito kod nanošenja premaza koristiti zaštitne maske s filterom od aktivnog ugljena ili maske sa svježim dovodom zraka.

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

U eksperimentalnom dijelu rada ispitani su sustavi premaza koji se koriste tijekom proizvodnje automobila. Posebni naglasak je dan na usporedbu bezbojnog laka otpornog na ogrebotine i standardnog bezbojnog laka, temelja i punila izravno nanošenog na metal, pri čemu je punilo u jednom slučaju brušeno, a u drugom je na mokro nanesen slijedeći sloj. Premazi su nanijeti na pločice od niskougličnog konstrukcijskog čelika i aluminijske. Pripremljeno je ukupno 140 pločica, pri čemu je od svake vrste pripremljeno sedam pločica. Za svaki uzorak dane su i oznake koje su prikazane u tablicama od 1. do 11. Cilj ovog ispitivanja je usporediti sve vrste premaza pri jednakim uvjetima ispitivanja kako bi se utvrdilo koji sustav premaza omogućuje najbolju zaštitu od korozije.

Uzorci su podvrgnuti slijedećim ispitivanjima:

1. Mjerenje debljine suhog filma premaza (ISO 2808)
2. Ispitivanje sjaja premaza (ISO 2813)
3. Ispitivanje prionjivosti premaza (ISO 2409, ISO 4624)
4. Ispitivanje premaza u uvjetima vlažne komore (ISO 6270-2)
5. Ispitivanje premaza u uvjetima slane komore (ISO 9227)
6. Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama (ISO 15184)
7. Ispitivanje otpornosti premaza na udar (ISO 6272-1)
8. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija.

#### 4.1. Priprema uzoraka

Prije nanošenja premaza na uzorke provedena je potrebna priprema površine.

Koraci pripreme površine prije nanošenja premaza su:

1. odmašćivanje površine
2. brušenje površine brusnim papirom granulacije P 180, slika 19.
3. odmašćivanje brušene površine, slika 19.



**Slika 19. Priprema uzoraka prije nanošenja premaza**

Nakon što je površina uzoraka pripremljena, na nekim uzorcima se površina dodatno fosfatira maramicama (slika 20.) kako bi se poboljšala prionjivost premaza i otpornost na koroziju. Nakon fosfatiranja i pripreme površine uzorci se stavljaju u komoru za lakiranje na temperaturu od 20 °C, te slijedi nanošenje premaza HVLP (High Volume Low Pressure; veliki volumen niski pritisak) pištoljem za nanošenje premaza.



**Slika 20. Fosfatiranje površine uzoraka maramicama, Glasurit 360-100 Pro Aktiv**

Koraci nanošenja premaza (slika 21.):

1. nanošenje temeljnog premaza, nanoseno samo kod nekih uzoraka
2. nanošenje punila
3. brušenje punila brusnim papirom granulacije P 600, samo kod uzoraka koji nisu zaštićeni mokro na mokro bez brušenja
4. odmašćivanje površine
5. uklanjanje čestica praha voštanom krpom
6. nanošenje završnog premaza.




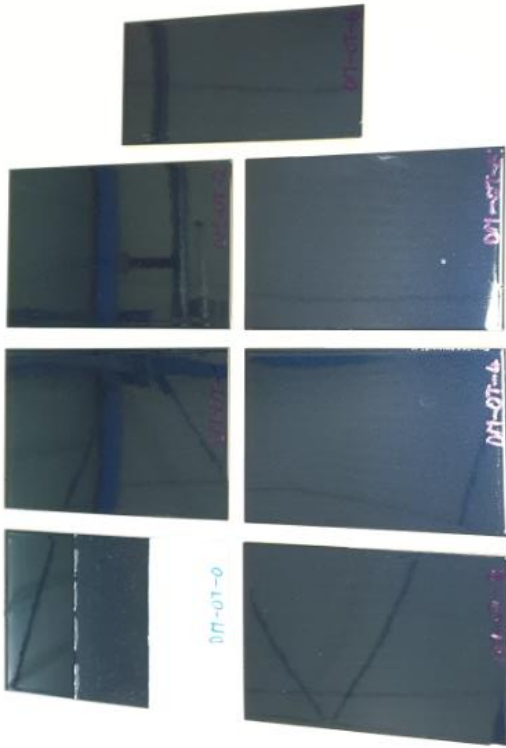
**Slika 21. Koraci nanošenja premaza, lakirnica tvrtke Autousluga d.o.o.**



## 4.2. Ispitni uzorci

U tablicama od 1. do 11. su prikazani zaštićeni uzorci na početku ispitivanja. U tablicama od 1. do 5. su prikazani sustavi premaza nanoseni na pločice od niskougličnog konstrukcijskog čelika, a u tablicama od 6. do 11. su prikazani sustavi premaza nanoseni na pločice od aluminija.



**Tablica 1. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, nanošeno mokro na mokro**

Uzorci	od DM-S-0 do DM-S-6	od DM-OT-0 do DM-OT-6
Površina premaza		
Slojevi premaza	1. Dvokomponentno poliuretansko punilo 2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz 3. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz	1. Dvokomponentno poliuretansko punilo 2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz 3. Dvokomponentni bezbojni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine

### Legenda:

- DM – označava dvokomponentno poliuretansko punilo koje se nanosi izravno na metal, idući sloj se nanosi mokro na mokro bez brušenja
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine



**Tablica 2. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, s brušenjem punila**

Uzorci	od DB-S-0 do DB-S-6	od DB-OT-0 do DB-OT-6
Površina premaza		
Slojevi premaza	1. Dvokomponentno poliuretansko punilo 2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz 3. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz	1. Dvokomponentno poliuretansko punilo 2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz 3. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine

Legenda:

- DB – označava dvokomponentno poliuretansko punilo koje se nanosi izravno na metal, idući sloj se nanosi na brušeno punilo brusnim papirom P 600
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine



**Tablica 3. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, s temeljnim premazom, nanošeno mokro na mokro**

Uzorci	od T-PM-S-0 do T-PM-S-6	od T-PM-OT-0 do T-PM-OT-6
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- T – označava dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz
- PM – označava dvokomponentno poliuretansko punilo, idući sloj se nanosi mokro na mokro bez brušenja
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- PVB – označava polivinil butiral

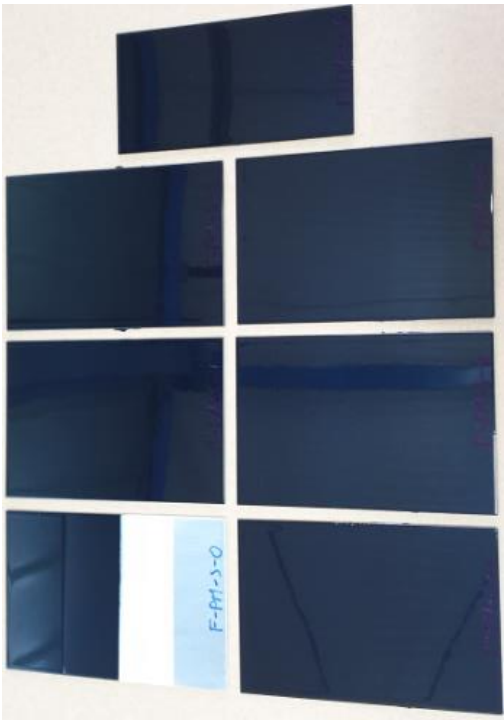

**Tablica 4. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, s temeljnim premazom i brušenjem punila**

Uzorci	od T-PB-S-0 do T-PB-S-6	od T-PB-OT-0 do T-PB-OT-6
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- T – označava dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz
- PB – označava dvokomponentno poliuretansko punilo, idući sloj se nanosi na brušeno punilo brusnim papirom P 600
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- PVB – označava polivinil butiral



**Tablica 5. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, čelična podloga, fosfatiranje podloge, nanošeno mokro na mokro**

Uzorci	od F-PM-S-0 do F-PM-S-6	od F-PM-OT-0 do F-PM-OT-6
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fosfatiranje podloge</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fosfatiranje podloge</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- F – označava fosfatiranje podloge maramicama
- PM – označava dvokomponentno poliuretansko punilo, idući sloj se nanosi mokro na mokro bez brušenja
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine

**Tablica 6. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, nanošeno mokro na mokro**

Uzorci	od DM-S-0-AL do DM-S-6-AL	od DM-OT-0-AL do DM-OT-6-AL
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>3. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>3. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- DM – označava dvokomponentno poliuretansko punilo koje se nanosi izravno na metal, idući sloj se nanosi mokro na mokro bez brušenja
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- AL – označava pločicu od aluminijske



**Tablica 7. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, nanošeno mokro na mokro**

Uzorci	DM-S-7-AL	DM-OT-7-AL
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>3. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>3. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- DM – označava dvokomponentno poliuretansko punilo koje se nanosi izravno na metal, idući sloj se nanosi mokro na mokro bez brušenja
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- AL – označava pločicu od aluminijske

**Tablica 8. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, s brušenjem punila**



Uzorci	od DB-S-0-AL do DB-S-6-AL	od DB-OT-0-AL do DB-OT-6-AL
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>3. Dvokomponentni bezbojni akrilni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>2. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>3. Dvokomponentni bezbojni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

**Legenda:**

- DB – označava dvokomponentno poliuretansko punilo koje se nanosi izravno na metal, idući sloj se nanosi na brušeno punilo brusnim papirom P 600
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- AL – označava pločicu od aluminijske





**Tablica 9. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, s temeljnim premazom, nanošeno mokro na mokro**

Uzorci	od T-PM-S-0-AL do T-PM-S-6-AL	od T-PM-OT-0-AL do T-PM-OT-6-AL
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjedivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- T – označava dvokomponentni PVB nagrizaajući temeljni premaz
- PM – označava dvokomponentno poliuretansko punilo, idući sloj se nanosi mokro na mokro bez brušenja
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- PVB – označava polivinil butiral
- AL – označava pločicu od aluminijske



**Tablica 10. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, s temeljnim premazom i brušenjem punila**

Uzorci	od T-PB-S-0-AL do T-PB-S-6-AL	od T-PB-OT-0-AL do T-PB-OT-6-AL
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dvokomponentni PVB nagrizajući temeljni premaz</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- T – označava dvokomponentni PVB nagrizajući temeljni premaz
- PB – označava dvokomponentno poliuretansko punilo, idući sloj se nanosi na brušeno punilo brusnim papirom P 600
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- PVB – označava polivinil butiral
- AL – označava pločicu od aluminijske legure

**Tablica 11. Ispitni uzorci na početku ispitivanja, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge, nanošeno mokro na mokro**

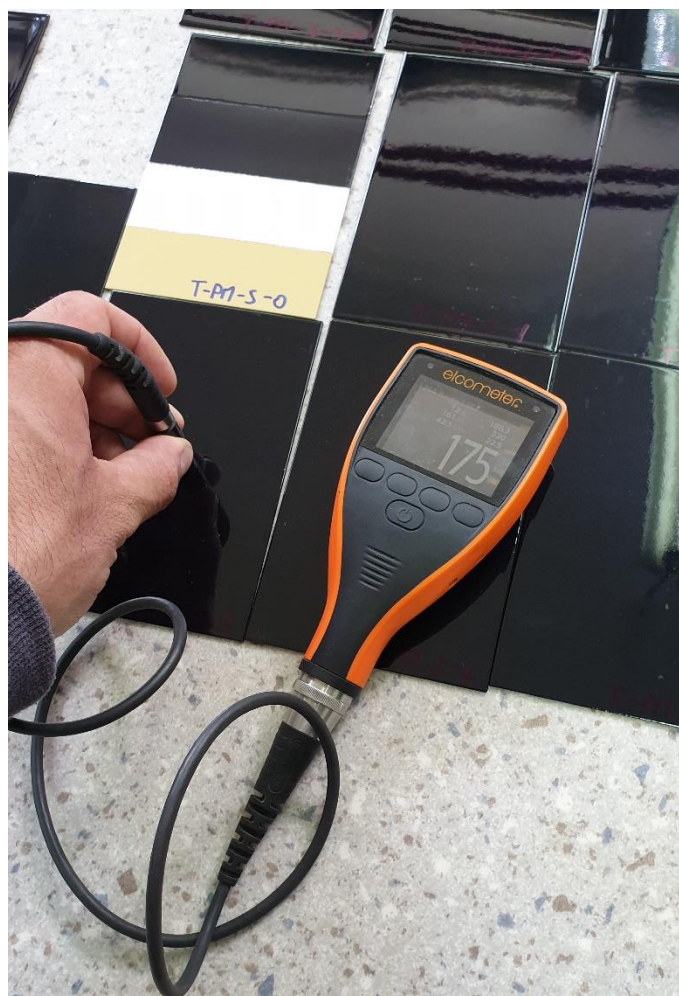
Uzorci	od F-PM-S-0-AL do F-PM-S-6-AL	od F-PM-OT-0-AL do F-PM-OT-6-AL
Površina premaza		
Slojevi premaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fosfatiranje podloge</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fosfatiranje podloge</li> <li>2. Dvokomponentno poliuretansko punilo</li> <li>3. Dvokomponentni poliuretanski vodorazrjeđivi premaz</li> <li>4. Dvokomponentni akrilni bezbojni završni premaz otporan na ogrebotine</li> </ol>

Legenda:

- F – označava fosfatiranje podloge maramicama
- PM – označava dvokomponentno poliuretansko punilo, idući sloj se nanosi mokro na mokro bez brušenja
- S – označava standardni dvokomponentni akrilni završni premaz
- OT – označava dvokomponentni akrilni završni premaz otporan na ogrebotine
- AL – označava pločicu od aluminija

### 4.3. Mjerenje debljine suhog filma premaza

Mjerenje debljine suhog filma premaza provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Mjerenje debljine suhog filma premaza provedeno je prema normi ISO 2808 uređajem Elcometer 456/4 koji je prikazan na slici 22.



Slika 22. Mjerenje debljine suhog filma premaza

Prije početka ispitivanja uređaj je potrebno kalibrirati, te su zatim ispitani svi uzorci. Za svaki uzorak napravljeno je 10 mjerenja pri čemu je kao referentna vrijednost uzeta aritmetička sredina navedenih 10 mjerenja.

### 4.3.1. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza

Rezultati ispitivanja debljine suhog filma premaza svih uzoraka prikazani su u tablicama 12. i 13.

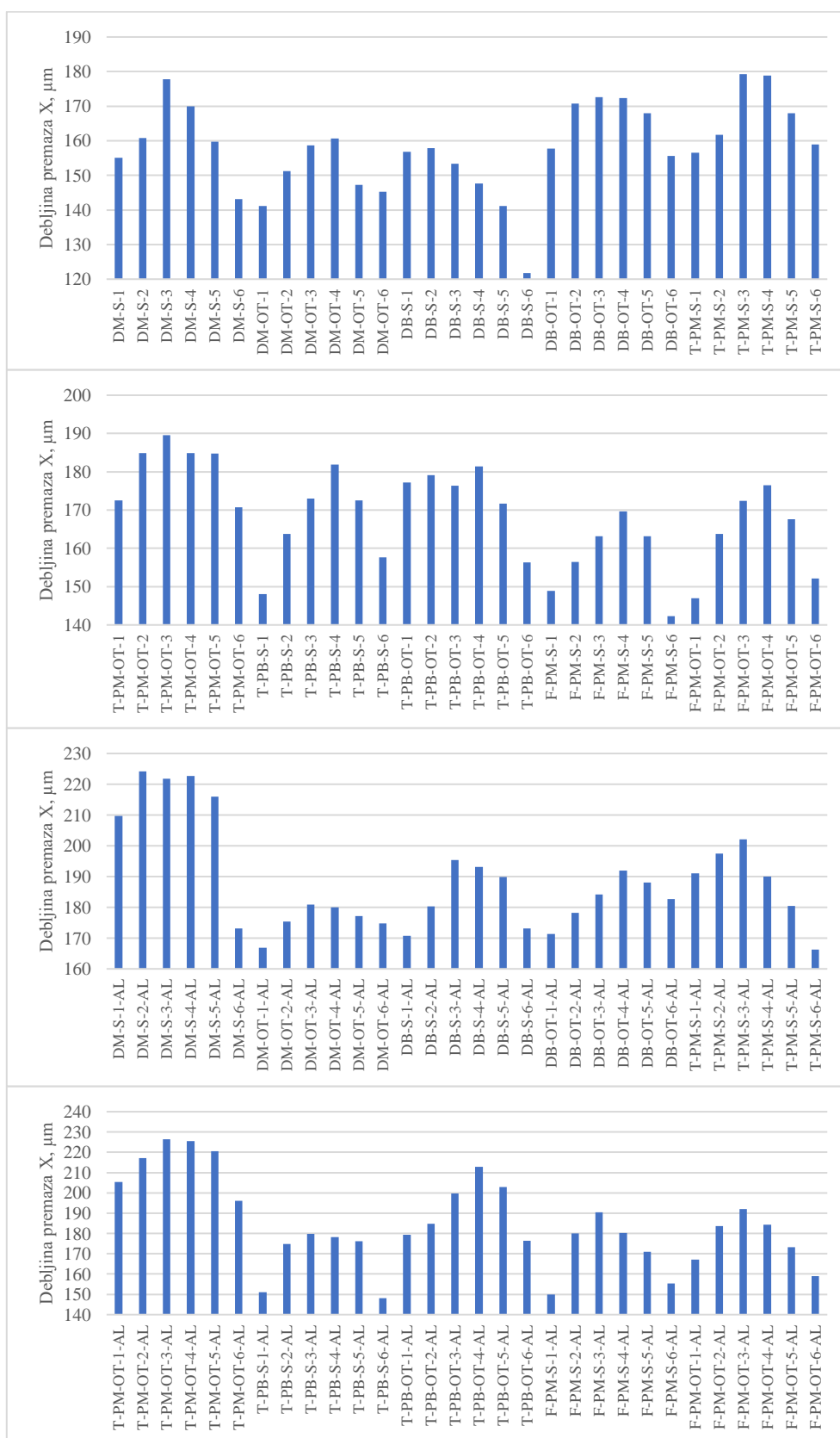
**Tablica 12. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza**

Uzorak	Aritmetička sredina X, $\mu\text{m}$	Uzorak	Aritmetička sredina X, $\mu\text{m}$
DM-S-1	155,1	T-PM-OT-1	172,5
DM-S-2	160,8	T-PM-OT-2	184,9
DM-S-3	177,8	T-PM-OT-3	189,6
DM-S-4	170	T-PM-OT-4	184,9
DM-S-5	159,7	T-PM-OT-5	184,8
DM-S-6	143,1	T-PM-OT-6	170,7
DM-OT-1	141,1	T-PB-S-1	148,1
DM-OT-2	151,2	T-PB-S-2	163,8
DM-OT-3	158,7	T-PB-S-3	173
DM-OT-4	160,6	T-PB-S-4	181,9
DM-OT-5	147,3	T-PB-S-5	172,5
DM-OT-6	145,3	T-PB-S-6	157,7
DB-S-1	156,8	T-PB-OT-1	177,2
DB-S-2	157,9	T-PB-OT-2	179,1
DB-S-3	153,4	T-PB-OT-3	176,4
DB-S-4	147,7	T-PB-OT-4	181,4
DB-S-5	141,1	T-PB-OT-5	171,7
DB-S-6	121,8	T-PB-OT-6	156,3
DB-OT-1	157,8	F-PM-S-1	148,9
DB-OT-2	170,8	F-PM-S-2	156,4
DB-OT-3	172,6	F-PM-S-3	163,2
DB-OT-4	172,3	F-PM-S-4	169,6
DB-OT-5	167,9	F-PM-S-5	163,2
DB-OT-6	155,6	F-PM-S-6	142,3
T-PM-S-1	156,5	F-PM-OT-1	147
T-PM-S-2	161,7	F-PM-OT-2	163,8
T-PM-S-3	179,2	F-PM-OT-3	172,4
T-PM-S-4	178,9	F-PM-OT-4	176,5
T-PM-S-5	167,9	F-PM-OT-5	167,6
T-PM-S-6	158,9	F-PM-OT-6	152,1

Tablica 13. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza

Uzorak	Aritmetička sredina X, $\mu\text{m}$	Uzorak	Aritmetička sredina X, $\mu\text{m}$
DM-S-1-AL	209,7	T-PM-OT-1-AL	205,3
DM-S-2-AL	224,2	T-PM-OT-2-AL	217,2
DM-S-3-AL	221,8	T-PM-OT-3-AL	226,4
DM-S-4-AL	222,7	T-PM-OT-4-AL	225,5
DM-S-5-AL	215,9	T-PM-OT-5-AL	220,5
DM-S-6-AL	173,1	T-PM-OT-6-AL	196,2
DM-OT-1-AL	166,8	T-PB-S-1-AL	151,1
DM-OT-2-AL	175,3	T-PB-S-2-AL	174,8
DM-OT-3-AL	180,9	T-PB-S-3-AL	179,9
DM-OT-4-AL	180	T-PB-S-4-AL	178,2
DM-OT-5-AL	177,1	T-PB-S-5-AL	176,1
DM-OT-6-AL	174,8	T-PB-S-6-AL	148
DB-S-1-AL	170,7	T-PB-OT-1-AL	179,4
DB-S-2-AL	180,3	T-PB-OT-2-AL	184,7
DB-S-3-AL	195,4	T-PB-OT-3-AL	199,7
DB-S-4-AL	193,1	T-PB-OT-4-AL	212,9
DB-S-5-AL	189,9	T-PB-OT-5-AL	202,8
DB-S-6-AL	173,2	T-PB-OT-6-AL	176,4
DB-OT-1-AL	171,4	F-PM-S-1-AL	149,9
DB-OT-2-AL	178,2	F-PM-S-2-AL	180
DB-OT-3-AL	184,2	F-PM-S-3-AL	190,4
DB-OT-4-AL	191,9	F-PM-S-4-AL	180,2
DB-OT-5-AL	188,1	F-PM-S-5-AL	170,9
DB-OT-6-AL	182,7	F-PM-S-6-AL	155,4
T-PM-S-1-AL	191	F-PM-OT-1-AL	167,2
T-PM-S-2-AL	197,5	F-PM-OT-2-AL	183,7
T-PM-S-3-AL	202,1	F-PM-OT-3-AL	192
T-PM-S-4-AL	190	F-PM-OT-4-AL	184,4
T-PM-S-5-AL	180,4	F-PM-OT-5-AL	173,3
T-PM-S-6-AL	166,3	F-PM-OT-6-AL	159

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramima na slici 23.



**Slika 23. Rezultati mjerenja debljine suhog filma premaza**

### Analiza rezultata mjerenja debljine suhog filma premaza

Iz tablica 12. i 13. te iz slike 23. se može zaključiti kako su rezultati ispitivanja nešto veći od očekivanja, a to je zato što čovjek ne može toliko jednoliko nanijeti sloj premaza kao što mogu roboti koji se koriste za nanošenje premaza u tvornicama automobila.

#### **4.4. Ispitivanje sjaja premaza**

Ispitivanje sjaja premaza provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanje sjaja premaza provedeno je pomoću uređaja TQC POLYGLOSS prikazanog na slici 24. Za obradu rezultata korištena je norma ISO 2813. Uređaj je prije mjerenja potrebno kalibrirati i zatim staviti okomito na ispitivanu površinu. Vrijednosti koje uređaj daje su projekcije svjetla pod kutom od 20°, 60° i 85°. Ispitivanje je vršeno tri puta te je dana aritmetička sredina rezultata ispitivanja.



**Slika 24. Uređaj za ispitivanje sjaja premaza**

Površine se mogu podijeliti na površine niskog sjaja, površine visokog sjaja i na sjajne površine. Da bi mogli površini dodijeliti neku od tih grupa dana je tablica 14.



**Tablica 14. Vrste površine prema sjaju [26]**

Vrsta površine	Vrijednost mjerenja	Kut mjerenja
Površine niskog sjaja	< 10	85°
Sjajne površine	od 10 do 70	60°
Površine visokog sjaja	> 70	20°

Ispitivanje sjaja premaza provedeno je prije i nakon što su uzorci ispitani u vlažnoj i slanoj komori.

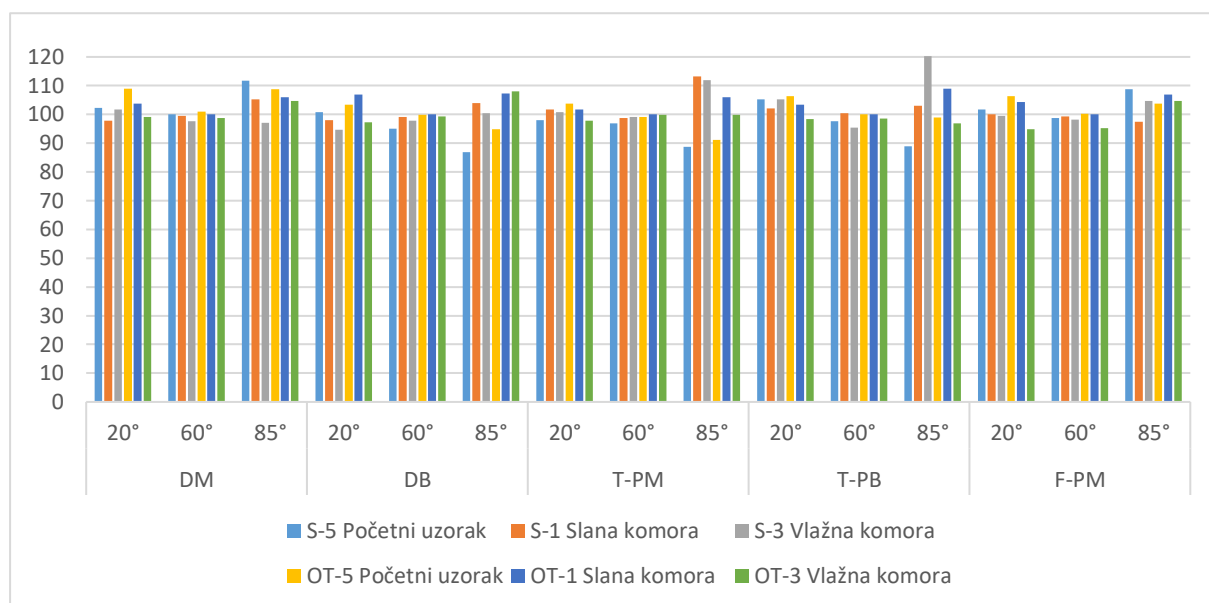
#### 4.4.1. Rezultati ispitivanja sjaja premaza

Rezultati ispitivanja sjaja premaza prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori prikazani su u tablici 15. za pločice koje su od čelika.

**Tablica 15. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, čelična podloga**

Uzorak	Kut	S-5	S-1	S-3	OT-5	OT-1	OT-3
		Početni uzorak	Slana komora	Vlažna komora	Početni uzorak	Slana komora	Vlažna komora
		Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU
DM	20°	102,3	97,8	101,7	109,0	103,7	99,2
	60°	100,0	99,5	97,7	101,0	100,0	98,8
	85°	111,7	105,3	97,1	108,7	106,0	104,7
DB	20°	100,7	98,0	94,6	103,3	107,0	97,2
	60°	95,0	99,2	97,9	99,8	100,0	99,3
	85°	86,8	104,0	100,4	94,8	107,3	108,0
T-PM	20°	98,0	101,8	100,8	103,7	101,7	97,9
	60°	96,9	98,8	99,2	99,1	100,0	99,8
	85°	88,7	113,3	112,0	91,2	106,0	99,9
T-PB	20°	105,3	102,0	105,3	106,3	103,3	98,4
	60°	97,7	100,5	95,4	100,0	100,0	98,5
	85°	89,0	103,0	120,3	98,9	109,0	96,9
F-PM	20°	101,8	100,0	99,4	106,3	104,3	94,8
	60°	98,8	99,3	98,2	100,3	100,0	95,2
	85°	108,7	97,4	104,7	103,7	107,0	104,7

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramom na slici 25.



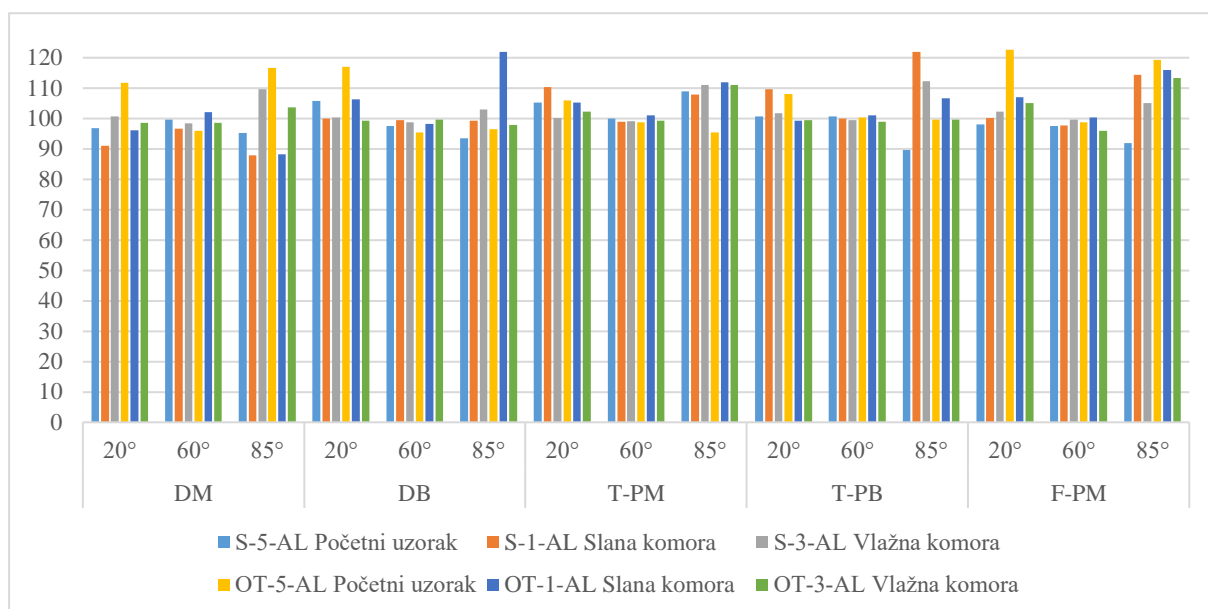
**Slika 25. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, čelična podloga**

U tablici 16. su prikazani rezultati ispitivanja sjaja premaza prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori za pločice koje su od aluminijske.

**Tablica 16. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, aluminijska podloga**

Uzorak	Kut	S-5-AL	S-1-AL	S-3-AL	OT-5-AL	OT-1-AL	OT-3-AL
		Početni uzorak	Slana komora	Vlažna komora	Početni uzorak	Slana komora	Vlažna komora
		Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU
DM	20°	96,8	91,1	100,6	111,7	96,1	98,6
	60°	99,6	96,6	98,4	95,9	102,0	98,6
	85°	95,3	87,8	109,7	116,7	88,2	103,7
DB	20°	105,7	99,9	100,3	117,0	106,3	99,2
	60°	97,6	99,4	98,7	95,5	98,2	99,7
	85°	93,5	99,3	103,0	96,5	122,0	97,9
T-PM	20°	105,3	110,3	100,2	106,0	105,3	102,3
	60°	100,0	99,0	99,1	98,7	101,0	99,3
	85°	109,0	107,8	111,0	95,5	112,0	111,0
T-PB	20°	100,7	109,7	101,7	108,0	99,3	99,5
	60°	100,7	99,9	99,4	100,3	101,0	98,9
	85°	89,6	122,0	112,3	99,6	106,7	99,6
F-PM	20°	98,1	100,2	102,3	122,7	107,0	105,0
	60°	97,5	97,7	99,6	98,8	100,3	95,9
	85°	91,9	114,3	105,0	119,3	116,0	113,3

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramom na slici 26.



**Slika 26. Rezultati ispitivanja sjaja premaza, aluminijska podloga**

#### Analiza rezultata ispitivanja sjaja premaza

Iz tablica 15. i 16. te iz slika 25. i 26. se može zaključiti kako su svi uzorci visokog sjaja prije i nakon ispitivanja. Najveći sjaj imaju uzorci kod kojih je završni premaz akrilni bezbojni premaz otporan na ogrebotine.

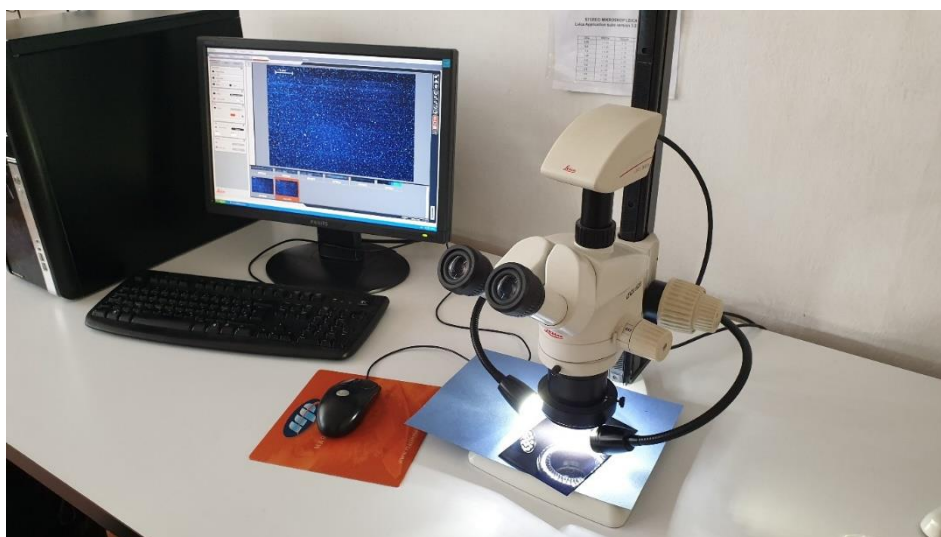
#### 4.4.2. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na ogrebotine i UV svjetlo

Ispitivanje otpornosti na ogrebotine i UV svjetlo provedeno je pomoću UV komore Erichsen Solarbox 1500, slika 27. UV komora simulira utjecaj sunčevog svjetla na sjaj i nijansu površine premaza. Kako bi se utvrdilo da li kod završnog premaza otpornog na ogrebotine dolazi do elastičnog povrata na uzorku DM-OT-7-AL i DM-S-7-AL napravljene su ogrebotine brusnim papirom P 3000 i P 6000 (tablica 17.), te su uzorci ispitani u UV komori u trajanju od 40 sati.



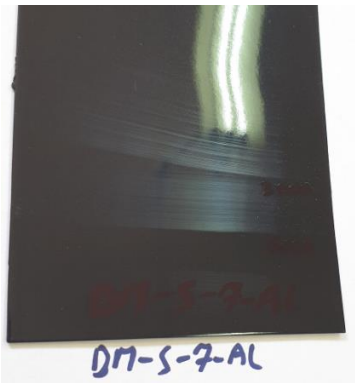


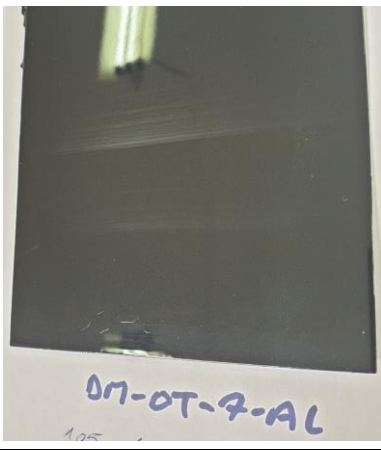
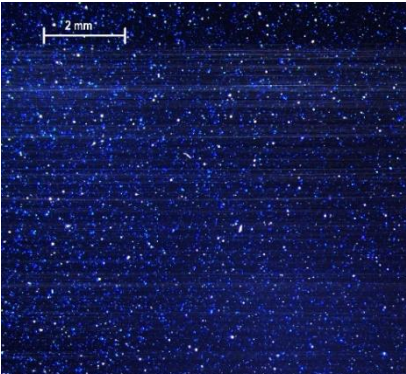
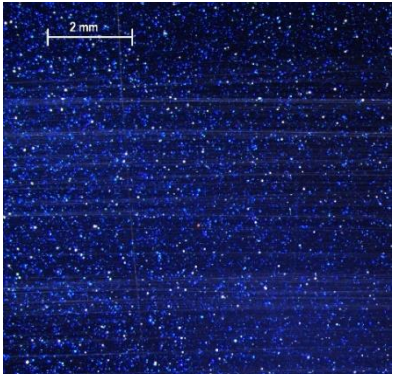
Slika 27. UV komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB

Nakon što su uzorci ispitani u UV komori, ogrebotine su analizirane pomoću Leica MZ6 mikroskopa prikazanog na slici 28. Ispitivanje mikroskopom provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.



Slika 28. Leica MZ6 mikroskop, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB

Tablica 17. Ogrebotine na uzorcima

Uzorci	DM-S-7-AL	DM-OT-7-AL
Površina premaza prije ispitivanja		
Površina premaza nakon ispitivanja		
Površina premaza nakon ispitivanja		

#### Analiza rezultata ispitivanja otpornosti na ogrebotine

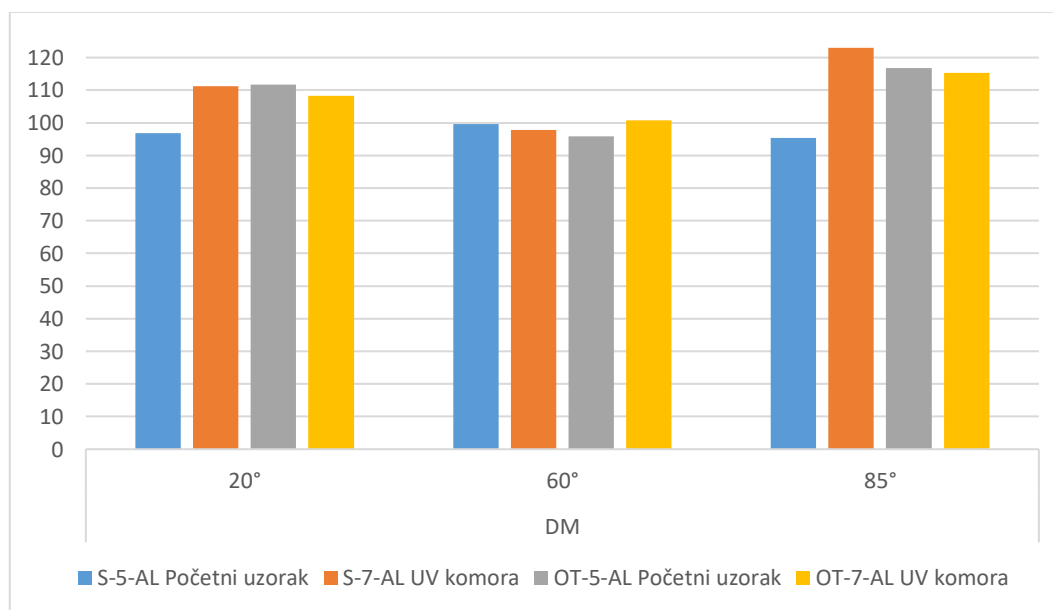
Iz tablice 17. je vidljivo kako je nakon ispitivanja uzoraka u UV komori, uzorku DM-OT-7-AL (uzorak sa završnim bezbojnim premazom otpornim na ogrebotine) se smanjila količina ogrebotina tj. došlo je do elastičnog povrata u odnosu na uzorak DM-S-7-AL (uzorak sa standardnim bezbojnim završnim premazom).

U tablici 18. su prikazani rezultati sjaja premaza prije i nakon izlaganja uzoraka uvjetima UV komore.

**Tablica 18. Rezultati ispitivanja sjaja premaza prije i nakon UV komore**

Uzorak	Kut	S-5-AL	S-7-AL	OT-5-AL	OT-7-AL
		Početni uzorak	UV komora	Početni uzorak	UV komora
		Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU	Aritmetička sredina, GU
DM	20°	96,8	111,3	111,7	108,3
	60°	99,6	97,9	95,9	100,7
	85°	95,3	123,0	116,7	115,3

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramom na slici 29.



**Slika 29. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na UV svjetlo**

#### Analiza rezultata ispitivanja otpornosti na UV svjetlo

Iz tablice 18. i slike 29. je vidljivo kako su svi uzorci visokog sjaja prije i nakon ispitivanja. Uzorku S-7-AL se nakon ispitivanja povećao sjaj, dok je uzorku OT-7-AL sjaj ostao nepromijenjen.

#### 4.5. Ispitivanje premaza u uvjetima vlažne komore

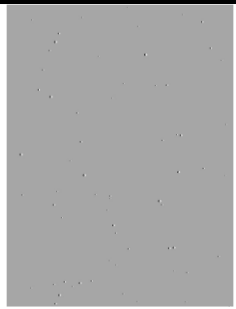
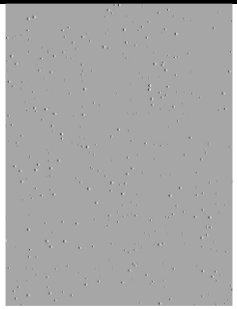



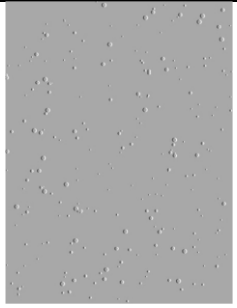
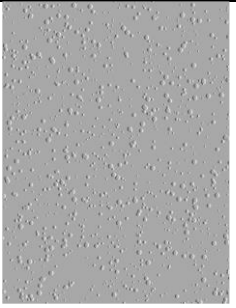
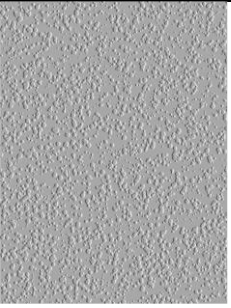
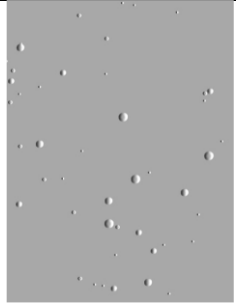

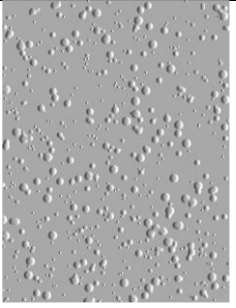
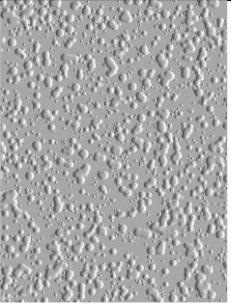
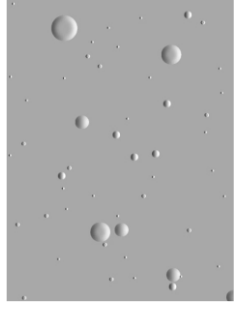
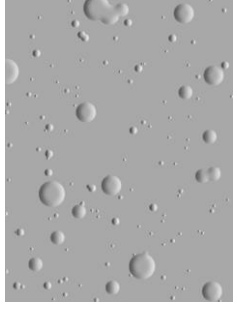
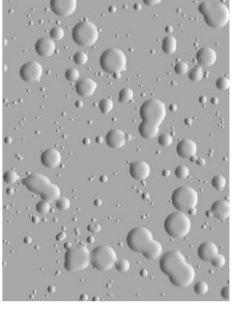
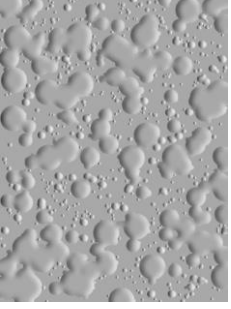
Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori provedeno je prema normi ISO 6270-2 u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, pomoću uređaja Humidity cabinet model AB6 prikazanog na slici 30. Temperatura ispitivanja je  $42 \pm 2$  °C, a relativna vlažnost zraka 100 %. Ispitivanju su podvrgnuti svi uzroci pod rednim brojem 3 i 4, a vrijeme trajanja ispitivanja je 240 sati.



**Slika 30. Ispitivanje uzoraka u vlažnoj komori**

Nakon što su uzorci ispitani u vlažnoj komori pristupa se ocjenjivanju površinske mjehuravosti. Mjehuranje površine određuje se prema normi ISO 4628-2. Vizualno se uspoređuje mjehuranje površine prema normi s ispitnim uzorcima i nakon toga se daje ocjena mjehuranja prema tablici 19.

**Tablica 19. Moguće stanje površine nakon izlaganja uvjetima vlažne i slane komore [28]**


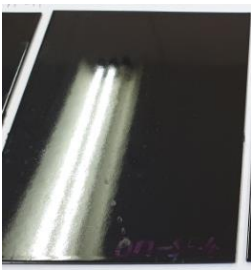




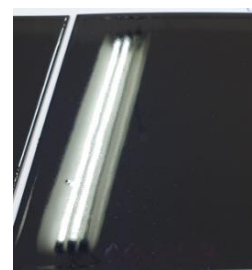
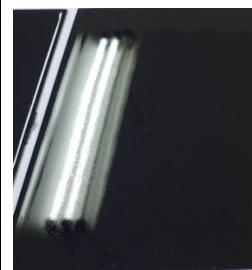
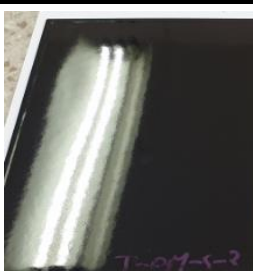
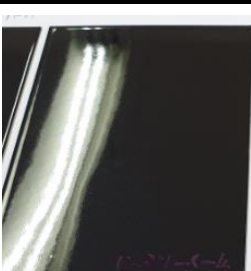


	Količina mjehura 2	Količina mjehura 3	Količina mjehura 4	Količina mjehura 5
Veličina mjehura (S2)				
Veličina mjehura (S3)				
Veličina mjehura (S4)				
Veličina mjehura (S5)				















#### 4.5.1. Rezultati ispitivanja premaza u uvjetima vlažne komore

Rezultati ispitivanja premaza u uvjetima vlažne komore prikazani su u tablicama od 20. do 23.







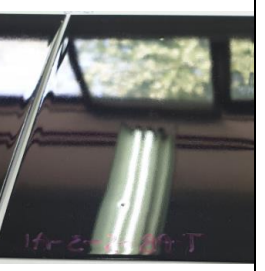
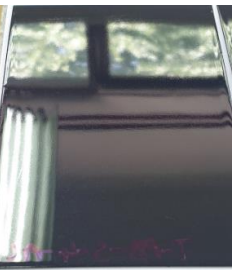




**Tablica 20. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore**

Uzorci	DM-S-3	DM-S-4	DB-S-3	DB-S-4
Stanje premaza				
Ocjena	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5
Uzorci	DM-OT-3	DM-OT-4	DB-OT-3	DB-OT-4
Stanje premaza				
Ocjena	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 4	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 4	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 3	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 3
Uzorci	T-PM-S-3	T-PM-S-4	T-PB-S-3	T-PB-S-4
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 3	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 3





**Tablica 21. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore**

Uzorci	T-PM-OT-3	T-PM-OT-4	T-PB-OT-3	T-PB-OT-4
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja
Uzorci	F-PM-S-3	F-PM-S-4	F-PM-OT-3	F-PM-OT-4
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja
Uzorci	DM-S-3-AL	DM-S-4-AL	DB-S-3-AL	DB-S-4-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5

Tablica 22. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore

Uzorci	DM-OT-3-AL	DM-OT-4-AL	DB-OT-3-AL	DB-OT-4-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja
Uzorci	T-PM-S-3-AL	T-PM-S-4-AL	T-PB-S-3-AL	T-PB-S-4-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5
Uzorci	T-PM-OT-3-AL	T-PM-OT-4-AL	T-PB-OT-3-AL	T-PB-OT-4-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja

**Tablica 23. Rezultati ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore**

Uzorci	F-PM-S-3-AL	F-PM-S-4-AL	F-PM-OT-3-AL	F-PM-OT-4-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja

#### Analiza rezultata ispitivanja nakon 240 sati ispitivanja u uvjetima vlažne komore

Iz tablica od 20. do 23. je vidljivo kako su uzorci koji su zaštićeni fosfatiranjem, poliuretanskim punilom, poliuretanskim vodorazrjedivim premazom, te završnim akrilnim bezbojnim premazom (standardnim i otpornim na ogrebotine) najotporniji na uvjete ispitivanja u vlažnoj komori, tj. nema pojave mjehura. Najviše uzoraka kod kojih je nastalo mjehuranje premaza zaštićeni su poliuretanskim punilom koje se nanosi izravno na metal. Nema vidljive razlike u otpornosti na mjehuranje s obzirom da li je punilo bilo brušeno ili je slijedeći sloj nanošen mokro na mokro.

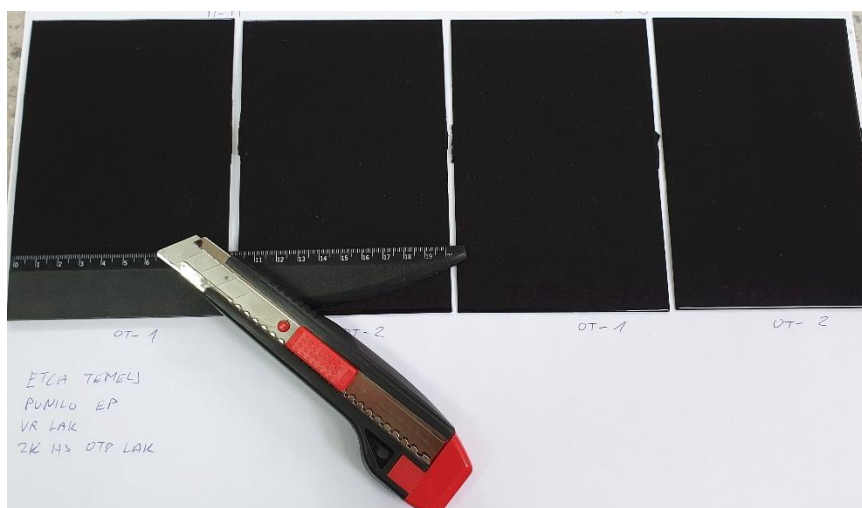
#### 4.6. Ispitivanje premaza u uvjetima slane komore

Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, pomoću uređaja Ascott S450, slika 31. Uvjetima slane komore podvrgnuti su svi uzorci pod rednim brojem 1 i 2 prema normi ISO 9227. Ispitivanje je provedeno u trajanju od 480 sati pri čemu je temperatura ispitivanja  $35 \pm 2$  °C.



Slika 31. Ispitivanje uzoraka u slanoj komori

Uzorci se prije izlaganja slanoj komori zarezuju skalpelom kako bi se moglo provesti ispitivanje širenja korozije ispod premaza prema normi ISO 7253, slika 32. Nakon što su uzorci ispitani u slanoj komori pristupa se ocjenjivanju površinske mjehuravosti prema normi ISO 4628-2 i ocjenjivanju stupnja korozije oko ureza.









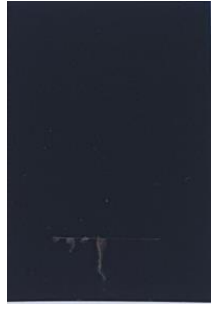





Slika 32. Uzorci pripremljeni za ispitivanje u slanoj komori













#### 4.6.1. Rezultati ispitivanja mjehuravosti premaza u uvjetima slane komore

Rezultati ispitivanja premaza u uvjetima slane komore prikazani su u tablicama od 24. do 27.













**Tablica 24. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore**

Uzorci	DM-S-1	DM-S-2	DB-S-1	DB-S-2
Stanje premaza				
Ocjena	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 5
Uzorci	DM-OT-1	DM-OT-2	DB-OT-1	DB-OT-2
Stanje premaza				
Ocjena	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 4	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 4	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 3	Veličina mjehura (S2) Količina mjehura 4
Uzorci	T-PM-S-1	T-PM-S-2	T-PB-S-1	T-PB-S-2
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja

Tablica 25. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore





Uzorci	T-PM-OT-1	T-PM-OT-2	T-PB-OT-1	T-PB-OT-2
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja
Uzorci	F-PM-S-1	F-PM-S-2	F-PM-OT-1	F-PM-OT-2
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja
Uzorci	DM-S-1-AL	DM-S-2-AL	DB-S-1-AL	DB-S-2-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja

**Tablica 26. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore**

Uzorci	DM-OT-1-AL	DM-OT-2-AL	DB-OT-1-AL	DB-OT-2-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja
Uzorci	T-PM-S-1-AL	T-PM-S-2-AL	T-PB-S-1-AL	T-PB-S-2-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja
Uzorci	T-PM-OT-1-AL	T-PM-OT-2-AL	T-PB-OT-1-AL	T-PB-OT-2-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja



**Tablica 27. Rezultati ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore**

Uzorci	F-PM-S-1-AL	F-PM-S-2-AL	F-PM-OT-1-AL	F-PM-OT-2-AL
Stanje premaza				
Ocjena	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja	Nema mjehuranja

Analiza rezultata ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore

Iz tablica od 24. do 27. je vidljivo kako je mjehuranje nastalo samo na uzorcima od čelika koji su zaštićeni poliuretanskim punilom koje se nanosi izravno na metal, poliuretanskim vodorazrjeđivim premazom, te završnim akrilnim bezbojnim premazom (standardnim i otpornim na ogrebotine). Nema vidljive razlike u otpornosti na mjehuranje s obzirom da li je punilo bilo brušeno ili je slijedeći sloj nanošen mokro na mokro.

#### 4.6.2. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore

Ispitivanje prema normi ISO 7253 provodi se tako da se reznom oštricom skalpela napravi urez na površini premaza prije izlaganja uvjetima slane komore te se nakon ispitivanja taj dio uzorka promatra. Urez treba biti duljine minimalno 5 cm te se preporučuje da bude udaljen 2 cm od rubova površine. Rezultat ispitivanja proračunava se prema formuli (1) [29]:

$$M = \frac{C-W}{2} [mm] \quad (1),$$

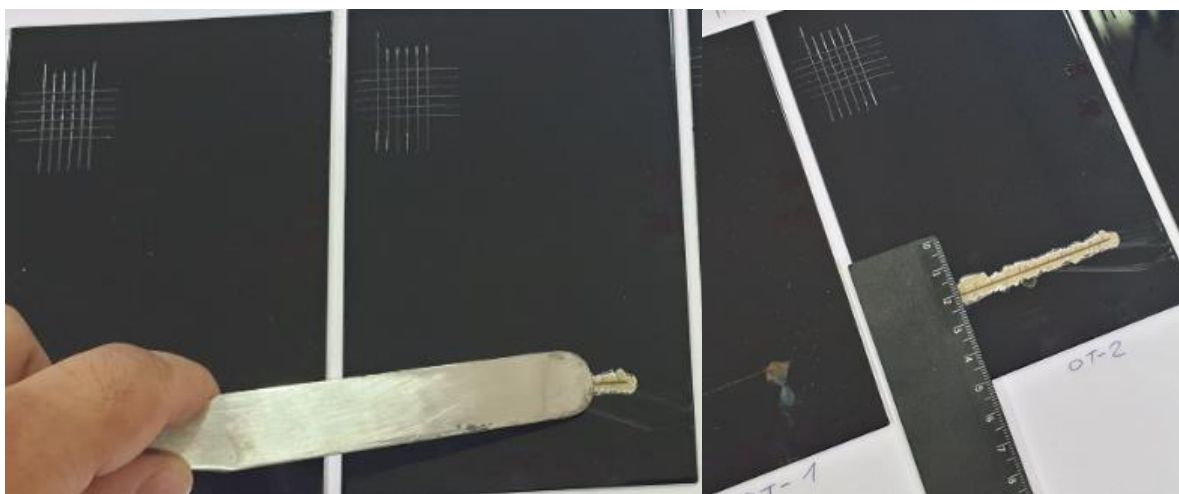
pri čemu je:

M – indeks korozivnosti površine, mora biti manji od 1 mm

C – širina oštećenja

W – širina reza skalpela.




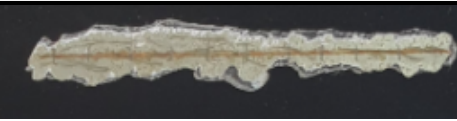
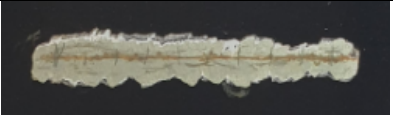



Nakon 480 sati ispitivanja u slanoj komori potrebno je pomoću alata odvojiti dio premaza koji je nabubrio kako bi se mogla promatrati korozija nastala ispod površine premaza, slika 33. Duž ureza je potrebno izmjeriti širinu oštećenja svakih 5 mm, slika 33.



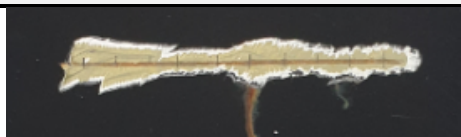
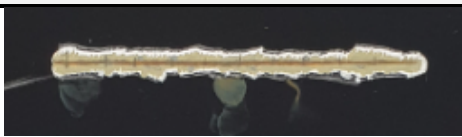



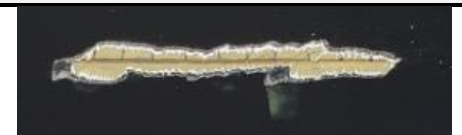


Slika 33. Odstranjivanje premaza oko ureza (lijevo) i mjerenje širine oštećenja (desno)

U tablicama od 28. do 30. su prikazani rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore za pločice koje su od niskougličnog čelika.





**Tablica 28. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga**

Uzorak	DM-S-1	DM-S-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,5 mm, W=0,2 mm M=0,15 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,5 mm, W=0,2 mm M=0,15 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	DB-S-1	DB-S-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,5 mm, W=0,2 mm M=0,15 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,5 mm, W=0,2 mm M=0,15 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	DM-OT-1	DM-OT-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,4 mm, W=0,2 mm M=0,1 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,4 mm, W=0,2 mm M=0,1 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	DB-OT-1	DB-OT-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,6 mm, W=0,2 mm M=0,2 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,8 mm, W=0,2 mm M=0,3 mm < 1 mm, zadovoljava

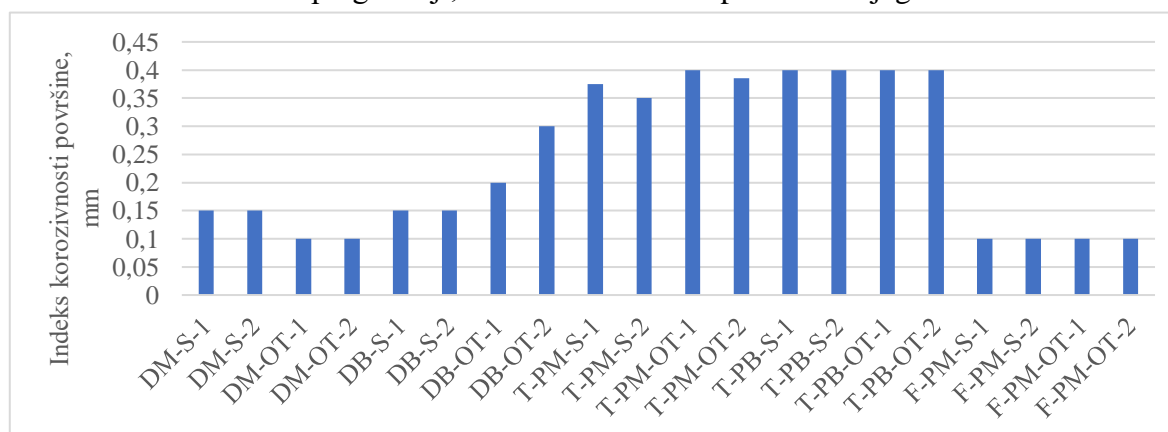
**Tablica 29. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga**

Uzorak	T-PM-S-1	T-PM-S-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,95 mm, W=0,2 mm M=0,375 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,9 mm, W=0,2 mm M=0,35 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	T-PB-S-1	T-PB-S-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=1 mm, W=0,2 mm M=0,4 mm < 1 mm, zadovoljava	C=1 mm, W=0,2 mm M=0,4 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	T-PM-OT-1	T-PM-OT-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=1 mm, W=0,2 mm M=0,4 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,97 mm, W=0,2 mm M=0,385 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	T-PB-OT-1	T-PB-OT-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=1 mm, W=0,2 mm M=0,4 mm < 1 mm, zadovoljava	C=1 mm, W=0,2 mm M=0,4 mm < 1 mm, zadovoljava

**Tablica 30. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga**

Uzorak	F-PM-S-1	F-PM-S-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,4 mm, W=0,2 mm M=0,1 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,4 mm, W=0,2 mm M=0,1 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	F-PM-OT-1	F-PM-OT-2
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,4 mm, W=0,2 mm M=0,1 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,4 mm, W=0,2 mm M=0,1 mm < 1 mm, zadovoljava

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramom na slici 34.










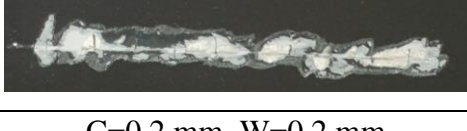
**Slika 34. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, čelična podloga**

#### Analiza rezultata ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u slanoj komori za čeličnu podlogu




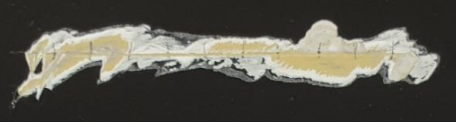



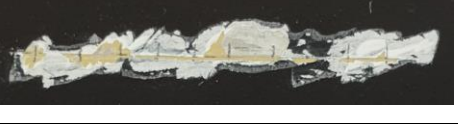
Iz tablica od 28. do 30. i slike 34. je vidljivo kako su svi uzorci čije su pločice od čelika zadovoljile u uvjetima ispitivanja slane komore, tj. uzorci su otporni na koroziju oko ureza. Najbolje rezultate otpornosti na koroziju oko ureza imaju uzorci koji su zaštićeni fosfatiranjem, poliuretanskim punilom, poliuretanskim vodorazjedinim premazom, te završnim akrilnim bezbojnim premazom (standardnim i otpornim na ogrebotine). Uzorcima kojima je punilo brušeno imaju nešto slabiju otpornost na koroziju oko ureza od uzoraka kojima je na punilo idući sloj nanesen mokro na mokro.

U tablicama od 31. do 33. su prikazani rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore za pločice koje su od aluminijska.


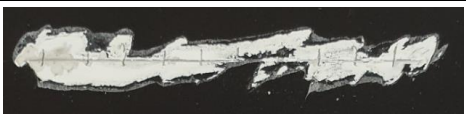


**Tablica 31. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, aluminijska podloga**

Uzorak	DM-S-1-AL	DM-S-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	DB-S-1-AL	DB-S-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	DM-OT-1-AL	DM-OT-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	DB-OT-1-AL	DB-OT-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava

**Tablica 32. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, aluminijska podloga**

Uzorak	T-PM-S-1-AL	T-PM-S-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	T-PB-S-1-AL	T-PB-S-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	T-PM-OT-1-AL	T-PM-OT-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	T-PB-OT-1-AL	T-PB-OT-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava

**Tablica 33. Rezultati ispitivanja širenja korozije ispod premaza oko ureza u uvjetima slane komore nakon 480 sati ispitivanja, aluminijska podloga**

Uzorak	F-PM-S-1-AL	F-PM-S-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava
Uzorak	F-PM-OT-1-AL	F-PM-OT-2-AL
Stanje premaza		
Ocjena	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava	C=0,2 mm, W=0,2 mm M=0 mm < 1 mm, zadovoljava

Analiza rezultata ispitivanja nakon 480 sati ispitivanja u uvjetima slane komore za aluminijsku podlogu

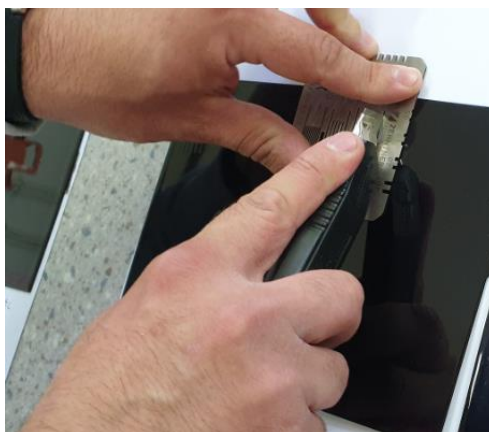
Iz tablica od 31. do 33. je vidljivo kako su svi uzorci čije su pločice od aluminijske zadovoljile u uvjetima ispitivanja slane komore, tj. uzorci su otporni na koroziju oko ureza. Nema razlike u otpornosti na koroziju oko ureza između uzoraka kojima je punilo brušeno i uzoraka kojima je na punilo idući sloj nanesen mokro na mokro.



## 4.7. Ispitivanje prionjivosti premaza

### 4.7.1. Ispitivanje prionjivosti premaza Cross-cut testom

Ispitivanje prionjivosti premaza Cross-cut testom provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanje prionjivosti premaza Cross-cut testom provedeno je u skladu s normom ISO 2409. Ispitivanje je provedeno na uzorcima prije ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori, te na uzorcima nakon ispitivanja u komorama. Uzorci su u vlažnoj komori ispitani na 240 sati, dok su u slanoj komori ispitani na 480 sati. Ova metoda koja se koristi za određivanje prionjivosti premaza sastoji se u zarezivanju zareza u obliku mrežice, slika 35. Razmak između zareza ovisi o debljini premaza, pa je u ovome slučaju razmak između zareza za sve uzorke jednak i iznosi 3 mm razmaka za debljinu premaza od 120  $\mu\text{m}$  do 250  $\mu\text{m}$ .



Slika 35. Urezivanje zareza u obliku mrežice

Nakon što se urežu zarez u obliku mrežice površinu je potrebno očistiti četkom kako bi se mogla naljepiti ljepljiva traka, slika 36.



Slika 36. Čišćenje površine četkom

Zatim se na očišćenu površinu lijepi traka, te je potrebno pričekati 30 sekundi i pod kutom od približno 60° ukloniti traku (slika 37.) u jednom potezu i nakon toga ocijeni prionjivost prema tablici 34.



Slika 37. Uklanjanje ljepljive trake

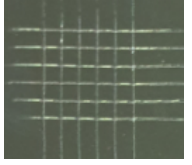
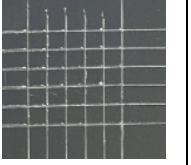
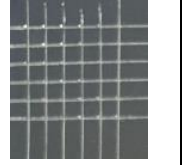
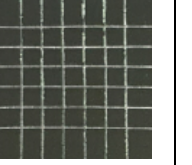
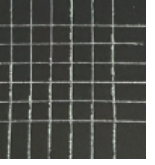
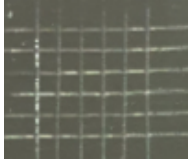
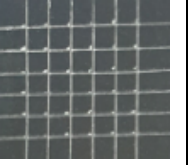
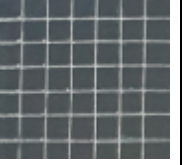
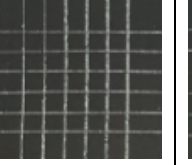
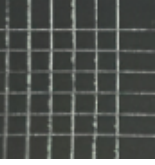
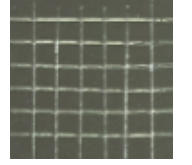
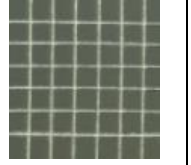

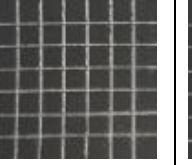
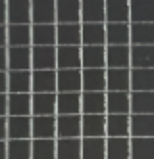
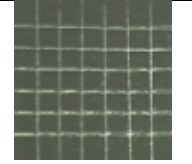
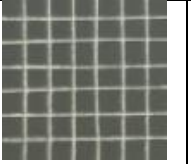
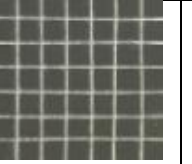
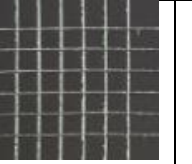
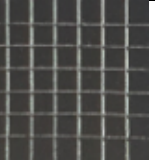
Tablica 34. Ocjena rezultata Cross-cut testa prema normi ISO 2409 [27]

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

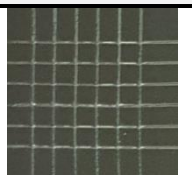
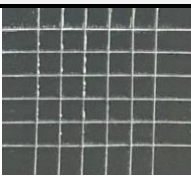
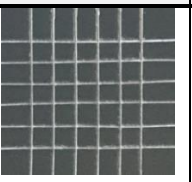
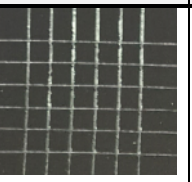
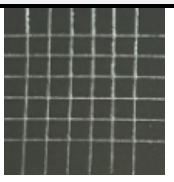
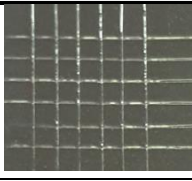
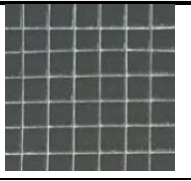
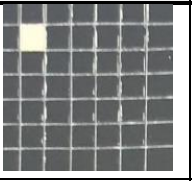
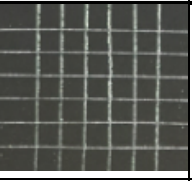
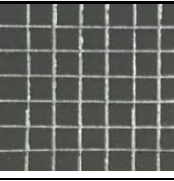
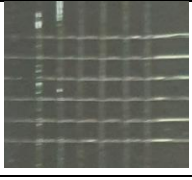
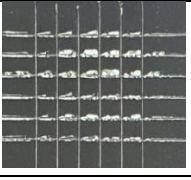
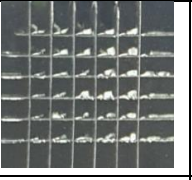
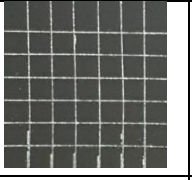
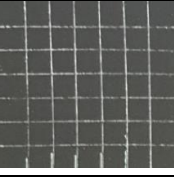
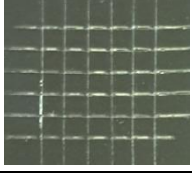
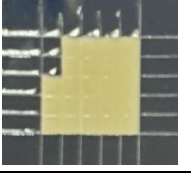
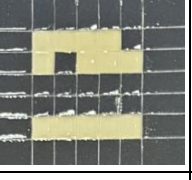
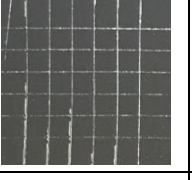
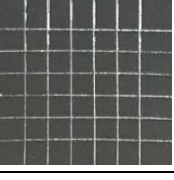
#### 4.7.1.1. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Cross-cut testom

Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Cross-cut testom prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori prikazani su u tablicama od 35. do 37. za uzorke od niskougljičnog čelika.

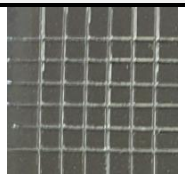
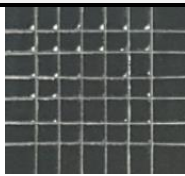
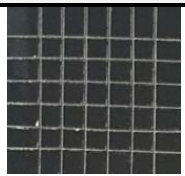
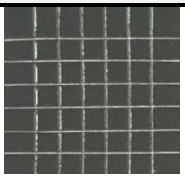
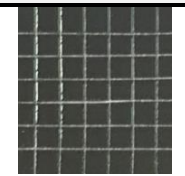
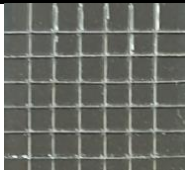
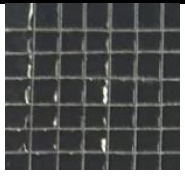
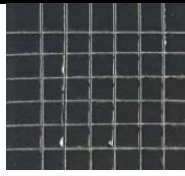
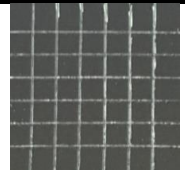
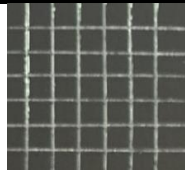
**Tablica 35. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, čelična podloga, punilo naneseno izravno na metal**

Uzorak	DM-S-5	DM-S-3	DM-S-4	DM-S-1	DM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	DB-S-5	DB-S-3	DB-S-4	DB-S-1	DB-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	DM-OT-5	DM-OT-3	DM-OT-4	DM-OT-1	DM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	DB-OT-5	DB-OT-3	DB-OT-4	DB-OT-1	DB-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0

**Tablica 36. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, čelična podloga, nanaseni temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-5	T-PM-S-3	T-PM-S-4	T-PM-S-1	T-PM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	T-PB-S-5	T-PB-S-3	T-PB-S-4	T-PB-S-1	T-PB-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	2	0	0
Uzorak	T-PM-OT-5	T-PM-OT-3	T-PM-OT-4	T-PM-OT-1	T-PM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	T-PB-OT-5	T-PB-OT-3	T-PB-OT-4	T-PB-OT-1	T-PB-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	5	4	0	0

**Tablica 37. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, čelična podloga, fosfatiranje podloge**

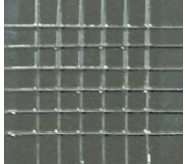

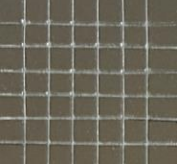
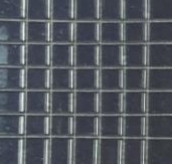






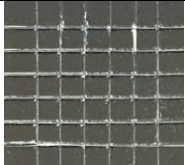
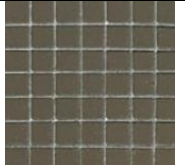



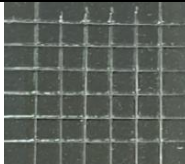




Uzorak	F-PM-S-5	F-PM-S-3	F-PM-S-4	F-PM-S-1	F-PM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	F-PM-OT-5	F-PM-OT-3	F-PM-OT-4	F-PM-OT-1	F-PM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0

#### Analiza rezultata ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom za čeličnu podlogu

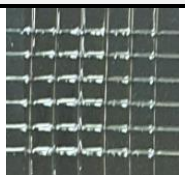
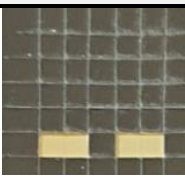
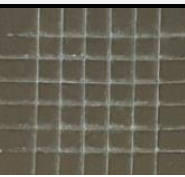
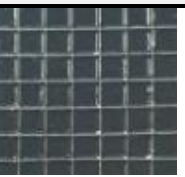
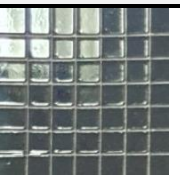
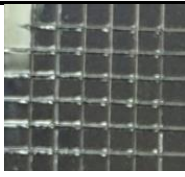
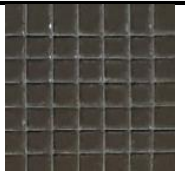

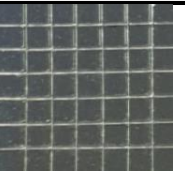
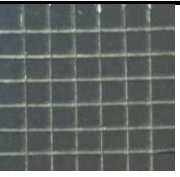
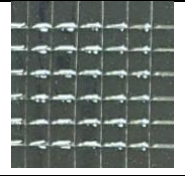
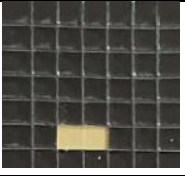
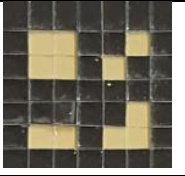
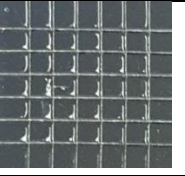
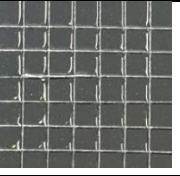
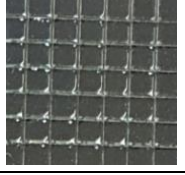
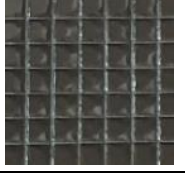

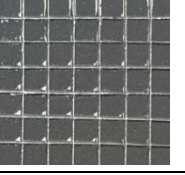
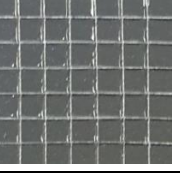
Iz tablica od 35. do 37. je vidljivo kako se prionjivost premaza mijenjala tijekom ispitivanja. Tako je čeličnim uzorcima T-PB-S-4, T-PB-OT-3 i T-PB-OT-4 (zaštićeni PVB nagrizajućim temeljnim premazom, poliuretanskim punilom, poliuretanskim vodorazrjedivim premazom, te završnim akrilnim standardnim i otpornim na ogrebotine bezbojnim premazom) koji su bili u vlažnoj komori prionjivost premaza drastično pala.

U tablicama od 38. do 40. su prikazani rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Cross-cut testom prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori za uzorke od aluminija.

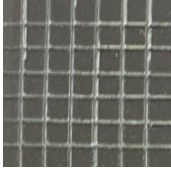
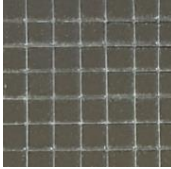
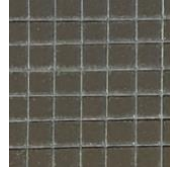
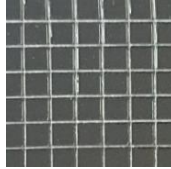
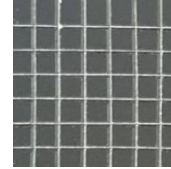
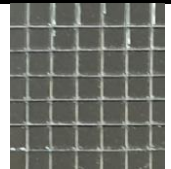
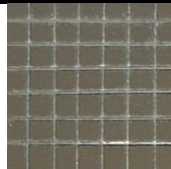
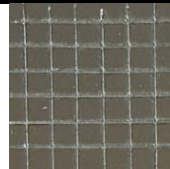
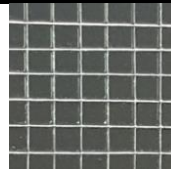
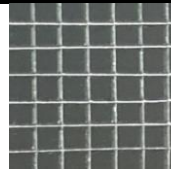
**Tablica 38. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, aluminijska podloga, punilo naneseo izravno na metal**

Uzorak	DM-S-5-AL	DM-S-3-AL	DM-S-4-AL	DM-S-1-AL	DM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	DB-S-5-AL	DB-S-3-AL	DB-S-4-AL	DB-S-1-AL	DB-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	DM-OT-5-AL	DM-OT-3-AL	DM-OT-4-AL	DM-OT-1-AL	DM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	DB-OT-5-AL	DB-OT-3-AL	DB-OT-4-AL	DB-OT-1-AL	DB-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0

**Tablica 39. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, aluminijska podloga, nanesei temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-5-AL	T-PM-S-3-AL	T-PM-S-4-AL	T-PM-S-1-AL	T-PM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	3	0	0	0
Uzorak	T-PB-S-5-AL	T-PB-S-3-AL	T-PB-S-4-AL	T-PB-S-1-AL	T-PB-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	T-PM-OT-5-AL	T-PM-OT-3-AL	T-PM-OT-4-AL	T-PM-OT-1-AL	T-PM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	2	4	0	0
Uzorak	T-PB-OT-5-AL	T-PB-OT-3-AL	T-PB-OT-4-AL	T-PB-OT-1-AL	T-PB-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0

**Tablica 40. Rezultati ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-5-AL	F-PM-S-3-AL	F-PM-S-4-AL	F-PM-S-1-AL	F-PM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0
Uzorak	F-PM-OT-5-AL	F-PM-OT-3-AL	F-PM-OT-4-AL	F-PM-OT-1-AL	F-PM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Prionjivost	0	0	0	0	0

Analiza rezultata ispitivanja prionjivosti Cross-cut testom za aluminijsku podlogu

Iz tablica od 38. do 40. je vidljivo kako se prionjivost premaza mijenjala tijekom ispitivanja. Tako je aluminijskim uzorcima T-PM-S-3-AL, T-PM-OT-3-AL i T-PM-OT-4-AL (zaštićeni PVB nagrizajućim temeljnim premazom, poliuretanskim punilom, poliuretanskim vodorazrjedivim premazom, te završnim akrilnim standardnim bezbojnim lakom i završnim akrilnim bezbojnim lakom otpornim na ogrebotine) koji su bili u vlažnoj komori prionjivost premaza pala.

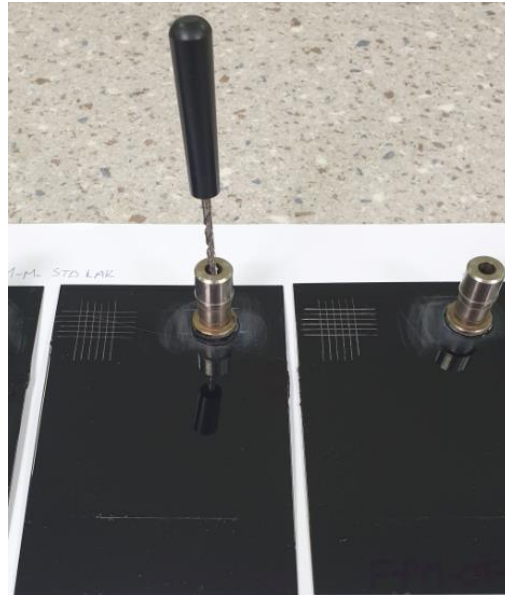


#### 4.7.2. Ispitivanje prionjivosti premaza Pull-off testom

Ispitivanje prionjivosti premaza Pull-off testom provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanje prionjivosti premaza Pull-off testom provedeno je u skladu s normom ISO 4624. Ispitivanje je provedeno na uzorcima prije ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori, te na uzorcima nakon ispitivanja u komorama. Uzorci su u vlažnoj komori proveli 240 sati, dok su u slanoj komori proveli 480 sati. Ovom metodom mogu se ispitivati jednoslojni ili višeslojni premazi. Ispitivanje se sastoji od lijepljenja testnih valjčića na ispitivanu površinu pomoću ljepila, slika 38. Kod odabira ljepila treba obratiti posebnu pozornost da su kohezivna i veziva svojstva ljepila veća nego promatranog premaza. Da bi se ljepilo osušilo, zalijepljene valjčiće je potrebno ostaviti 30 minuta u mirovanju. Nakon proteklog vremena višak ljepila se odstranjuje pomoću svrdla te se pomoću uređaja vrši ispitivanje, slika 39. i 40. Uređajem se dobiva vrijednost naprezanja  $\sigma$  uslijed kojeg je došlo do odvajanja testnog valjčića od premaza.



Slika 38. Lijepljenje testnih valjčića i uređaj za ispitivanje



**Slika 39. Čišćenje viška lijepila**


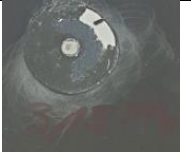
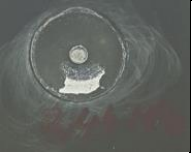



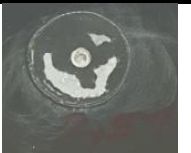



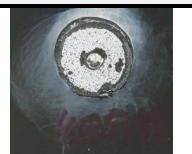

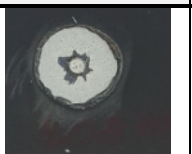
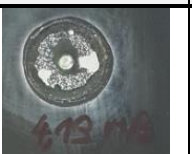

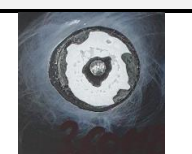
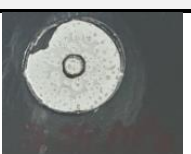





**Slika 40. Ispitivanje prionjivosti Pull-off testom**






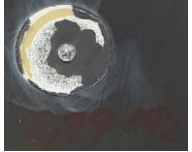









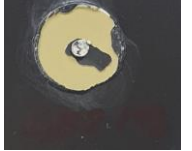
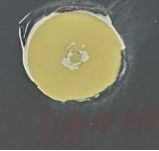



#### 4.7.2.1. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom

Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori prikazani su u tablicama od 41. do 43. za uzorke od niskougličnog čelika.

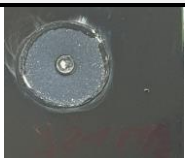


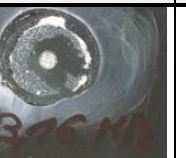

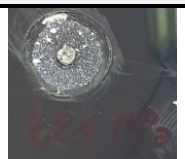
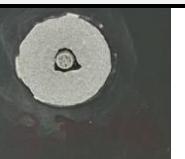
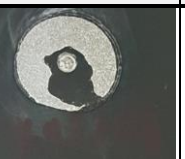


**Tablica 41. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga, punilo nanoseno izravno na metal**

Uzorak	DM-S-5	DM-S-3	DM-S-4	DM-S-1	DM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	3,31	3,15	2,44	3,19	2,83
Uzorak	DB-S-5	DB-S-3	DB-S-4	DB-S-1	DB-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	3,40	2,51	3,69	2,90	2,87
Uzorak	DM-OT-5	DM-OT-3	DM-OT-4	DM-OT-1	DM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	4,05	3,55	4,08	4,13	4,22
Uzorak	DB-OT-5	DB-OT-3	DB-OT-4	DB-OT-1	DB-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	3,60	3,34	3,45	3,72	3,85

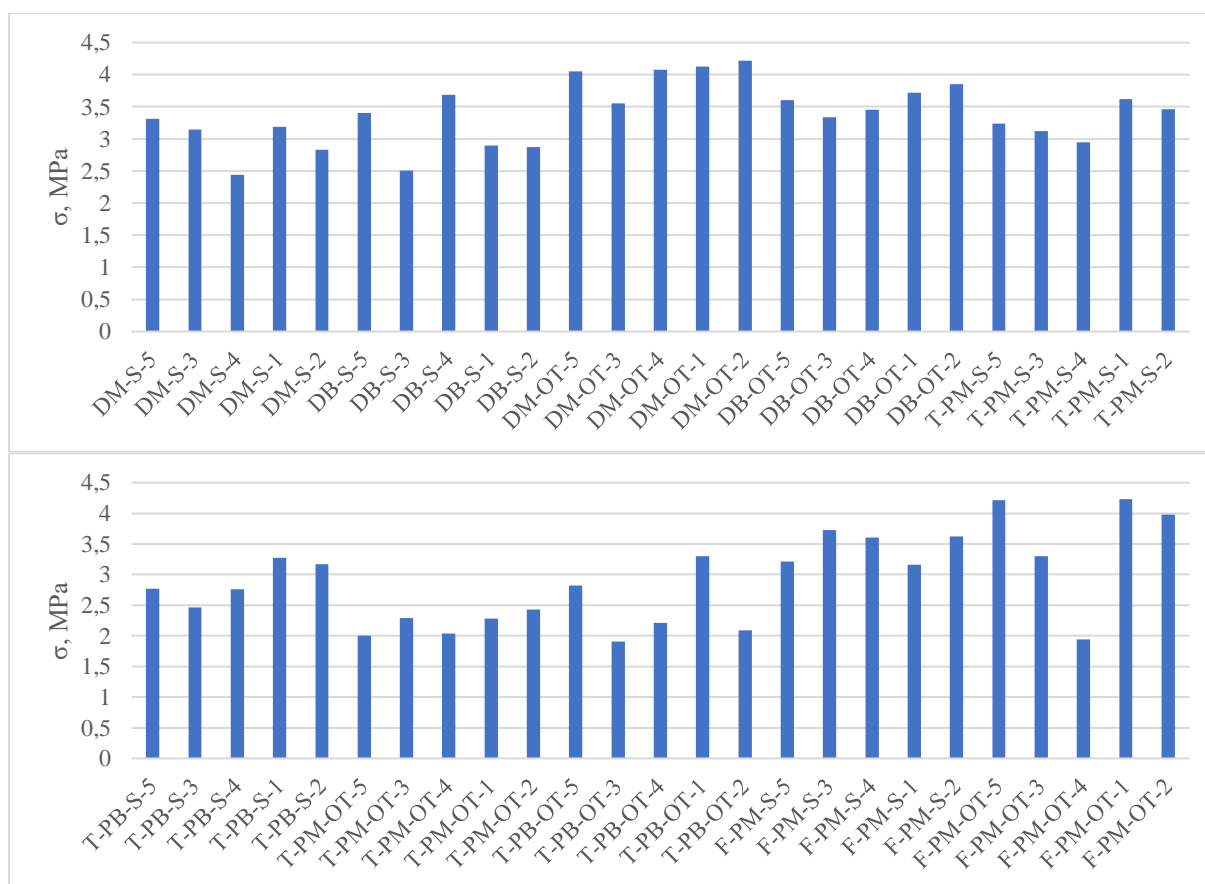
**Tablica 42. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga, nanoseni temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-5	T-PM-S-3	T-PM-S-4	T-PM-S-1	T-PM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	3,24	3,12	2,95	3,62	3,46
Uzorak	T-PB-S-5	T-PB-S-3	T-PB-S-4	T-PB-S-1	T-PB-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	2,77	2,46	2,76	3,27	3,17
Uzorak	T-PM-OT-5	T-PM-OT-3	T-PM-OT-4	T-PM-OT-1	T-PM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	2,00	2,29	2,04	2,28	2,43
Uzorak	T-PB-OT-5	T-PB-OT-3	T-PB-OT-4	T-PB-OT-1	T-PB-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	2,82	1,91	2,21	3,30	2,09

**Tablica 43. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-5	F-PM-S-3	F-PM-S-4	F-PM-S-1	F-PM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	3,21	3,73	3,60	3,16	3,62
Uzorak	F-PM-OT-5	F-PM-OT-3	F-PM-OT-4	F-PM-OT-1	F-PM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	4,21	3,30	1,94	4,23	3,98

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramima na slici 41.



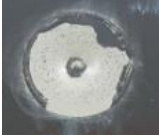

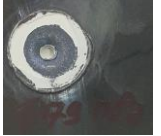

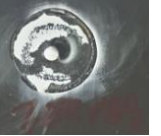
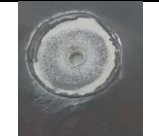





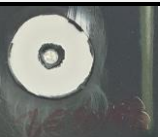

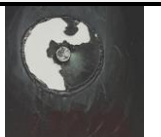
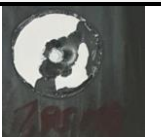



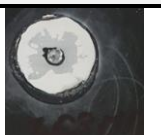
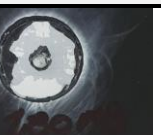
**Slika 41. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, čelična podloga**

### Analiza rezultata ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom za čeličnu podlogu

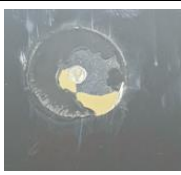
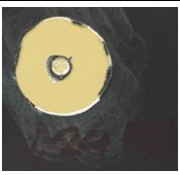

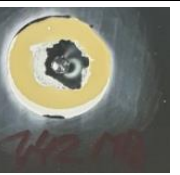




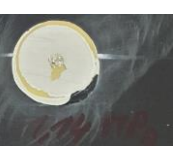


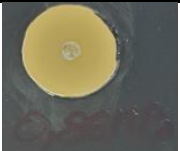
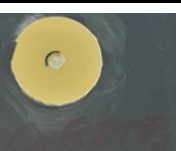
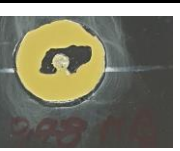
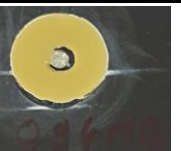
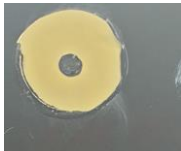



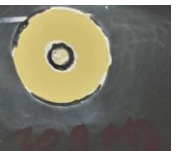
Iz tablica od 41. do 43. i iz slike 41. je vidljivo kako se prionjivost premaza mijenjala tijekom ispitivanja. Tako je svim uzorcima koji su ispitivani u uvjetima vlažne komore prionjivost premaza pala, dok je uzorcima koji su ispitivani u uvjetima slane komore prionjivost neznatno promijenila. Najlošiju prionjivost premaza nakon ispitivanja imaju uzorci koji su zaštićeni PVB nagrizaćim temeljnim premazom, poliuretanskim punilom, poliuretanskim vodorazrjeđivim premazom, te akrilnim standardnim i otpornim na ogrebotine završnim bezbojnim premazom.

U tablicama od 44. do 46. su prikazani rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori za uzorke od aluminija.

**Tablica 44. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga, punilo nanoseno izravno na metal**

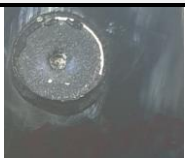




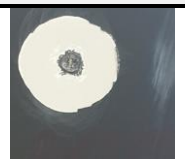



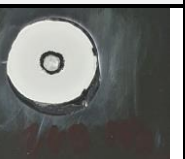
Uzorak	DM-S-5-AL	DM-S-3-AL	DM-S-4-AL	DM-S-1-AL	DM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	2,21	1,71	1,79	2,15	1,82
Uzorak	DB-S-5-AL	DB-S-3-AL	DB-S-4-AL	DB-S-1-AL	DB-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	2,60	1,76	1,74	1,21	1,68
Uzorak	DM-OT-5-AL	DM-OT-3-AL	DM-OT-4-AL	DM-OT-1-AL	DM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	1,94	1,54	1,58	1,37	1,76
Uzorak	DB-OT-5-AL	DB-OT-3-AL	DB-OT-4-AL	DB-OT-1-AL	DB-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	1,55	1,63	1,41	1,53	1,80

**Tablica 45. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga, nanesei temeljni premaz**

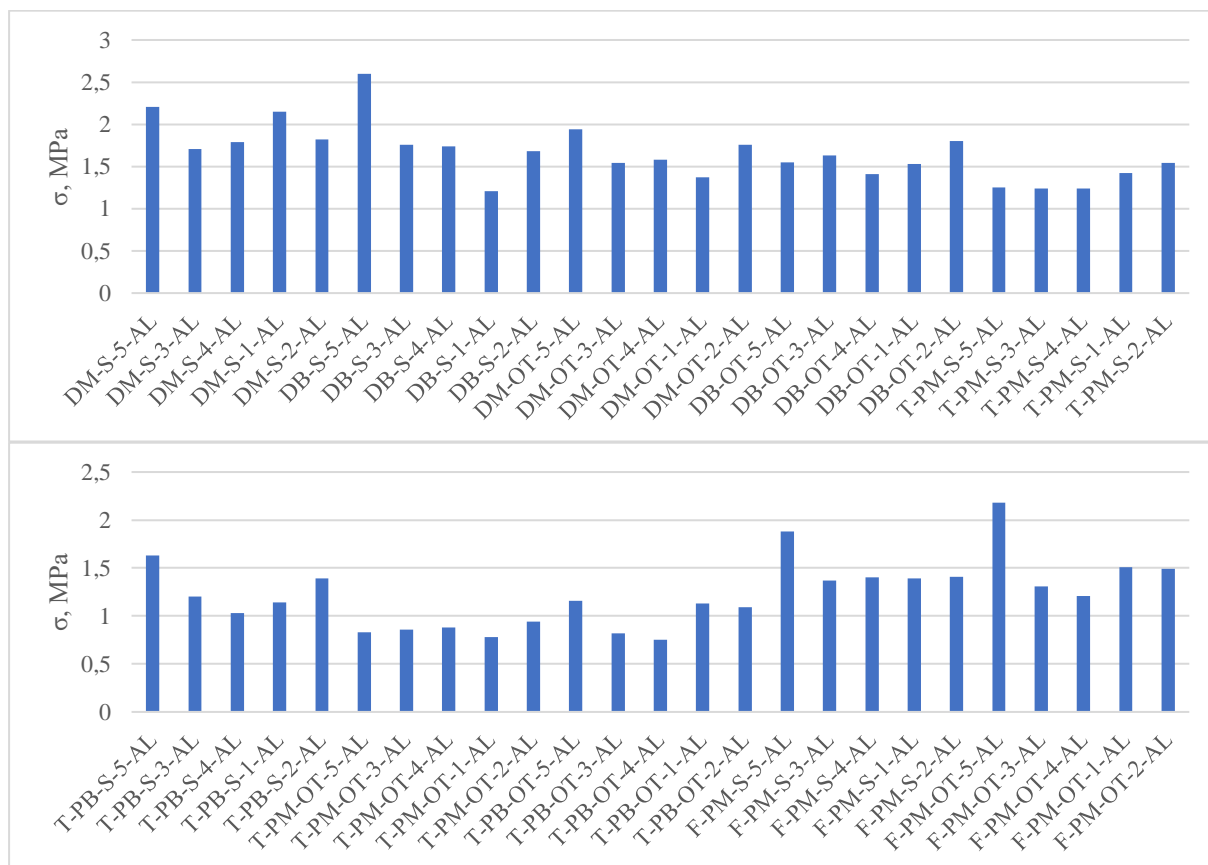
Uzorak	T-PM-S-5-AL	T-PM-S-3-AL	T-PM-S-4-AL	T-PM-S-1-AL	T-PM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	1,25	1,24	1,24	1,42	1,54
Uzorak	T-PB-S-5-AL	T-PB-S-3-AL	T-PB-S-4-AL	T-PB-S-1-AL	T-PB-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	1,63	1,20	1,03	1,14	1,39
Uzorak	T-PM-OT-5-AL	T-PM-OT-3-AL	T-PM-OT-4-AL	T-PM-OT-1-AL	T-PM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	0,83	0,86	0,88	0,78	0,94
Uzorak	T-PB-OT-5-AL	T-PB-OT-3-AL	T-PB-OT-4-AL	T-PB-OT-1-AL	T-PB-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	1,16	0,82	0,75	1,13	1,09



**Tablica 46. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-5-AL	F-PM-S-3-AL	F-PM-S-4-AL	F-PM-S-1-AL	F-PM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	1,88	1,37	1,40	1,39	1,41
Uzorak	F-PM-OT-5-AL	F-PM-OT-3-AL	F-PM-OT-4-AL	F-PM-OT-1-AL	F-PM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
$\sigma$ , MPa	2,18	1,31	1,21	1,51	1,49

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramima na slici 42.



**Slika 42. Rezultati ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom, aluminijska podloga**

Analiza rezultata ispitivanja prionjivosti premaza Pull-off testom za aluminijsku podlogu

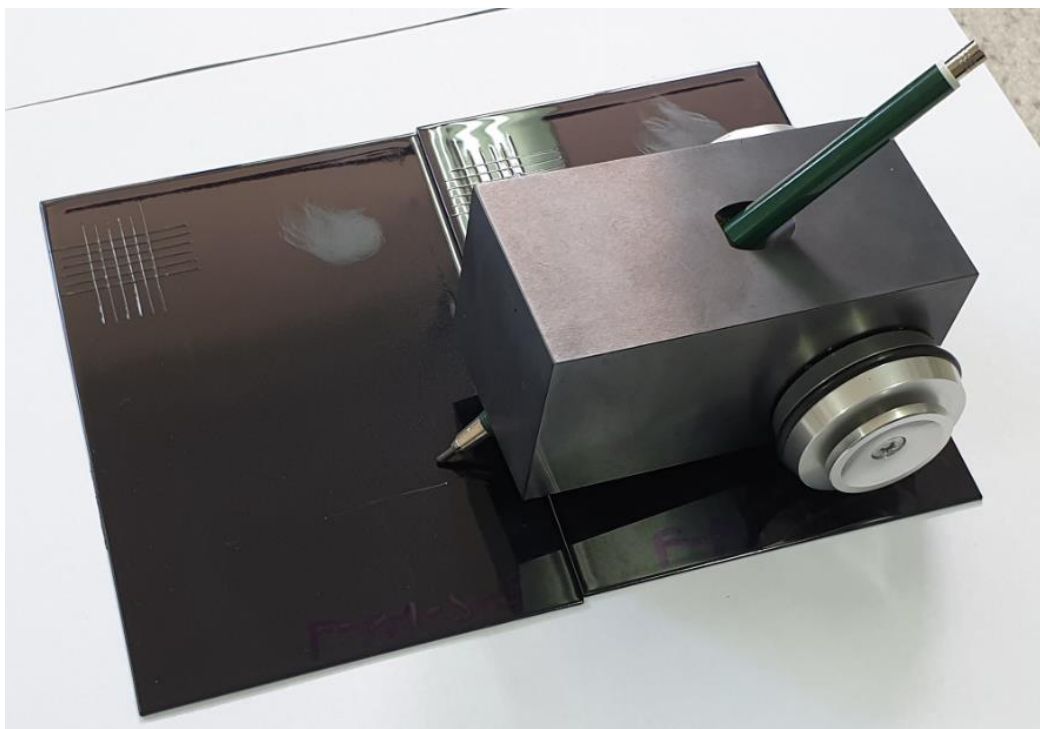
Iz tablica od 43. do 46. i iz slike 42. je vidljivo kako se prionjivost premaza mijenjala tijekom ispitivanja. Tako je svim uzorcima nakon ispitivanja u uvjetima vlažne i slane komore prionjivost premaza pala. Na aluminijskim uzorcima, prionjivost premaza prije i nakon ispitivanja u komorama je manja nego pločicama koje su od čelika bez obzira na vrstu premaza i tehnike nanošenja premaza. Prionjivost premaza koji su nanoseni na aluminijske pločice je manja zato jer je pločica debljine 0,8 mm, pa prilikom ispitivanja Pull-off testom se utiskuje trn koji deformira površinu pločice.

#### 4.8. Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama

Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama provedeno je prema normi ISO 15184. Cilj ispitivanja je pomoću olovka različitih tvrdoća odrediti tvrdoću premaza. U ispitivanju se koriste olovke slijedećih tvrdoća, od najmekše prema najtvrđoj:

- od 9B do B
- HB
- F
- od H do 9H.

Ispitivanje se provodi pomoću uređaja Simex (slika 43.), kojim se olovka namješta pod kutom od 45°. Ispitivanje tvrdoće premaza se zaustavlja onog trenutka kada olovka kojom ispitujemo tvrdoću premaza ne ostavi trag na površini premaza. Ispitivanju su podvrgnuti uzorci prije i nakon ispitivanja u uvjetima vlažne i slane komore.





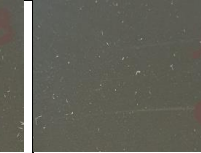





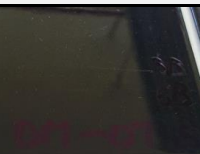

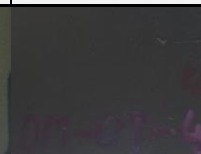
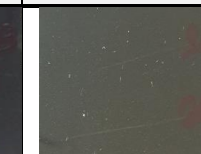

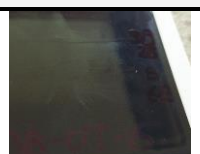
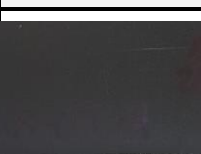

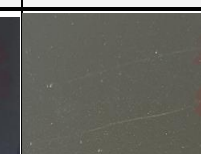



**Slika 43. Ispitivanje tvrdoće premaza olovkama**



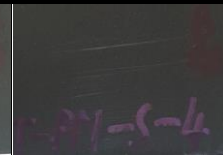


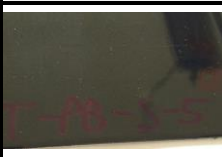




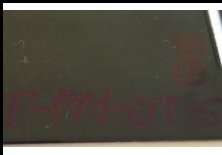
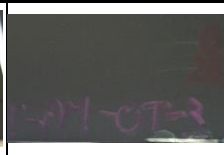
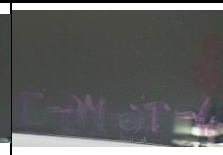


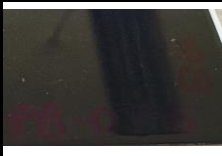

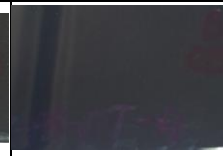


#### 4.8.1. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama

Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori prikazani su u tablicama od 47. do 49. za uzorke od niskougljičnog čelika.



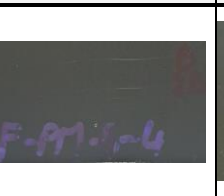


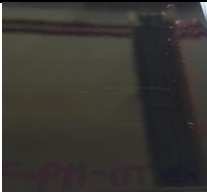
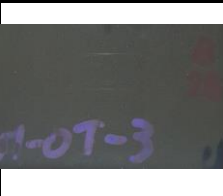
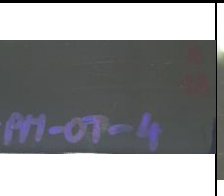


**Tablica 47. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, čelična podloga, punilo naneseo izravno na metal**

Uzorak	DM-S-5	DM-S-3	DM-S-4	DM-S-1	DM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	DB-S-5	DB-S-3	DB-S-4	DB-S-1	DB-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	DM-OT-5	DM-OT-3	DM-OT-4	DM-OT-1	DM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	DB-OT-5	DB-OT-3	DB-OT-4	DB-OT-1	DB-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B

**Tablica 48. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, čelična podloga, naneseeni temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-5	T-PM-S-3	T-PM-S-4	T-PM-S-1	T-PM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	T-PB-S-5	T-PB-S-3	T-PB-S-4	T-PB-S-1	T-PB-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	T-PM-OT-5	T-PM-OT-3	T-PM-OT-4	T-PM-OT-1	T-PM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	T-PB-OT-5	T-PB-OT-3	T-PB-OT-4	T-PB-OT-1	T-PB-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B

**Tablica 49. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, čelična podloga, fosfatiranje podloge**







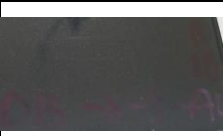
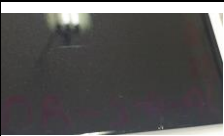


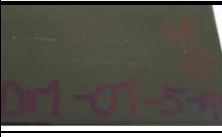






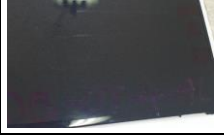
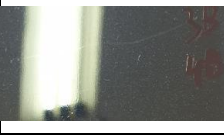
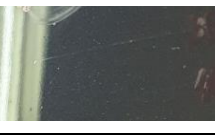
Uzorak	F-PM-S-5	F-PM-S-3	F-PM-S-4	F-PM-S-1	F-PM-S-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	F-PM-OT-5	F-PM-OT-3	F-PM-OT-4	F-PM-OT-1	F-PM-OT-2
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B

#### Analiza rezultata ispitivanja tvrdoće premaza olovkama za čeličnu podlogu

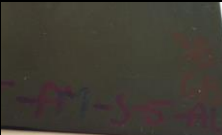

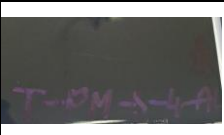




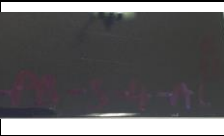


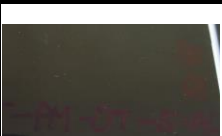


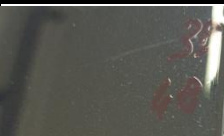

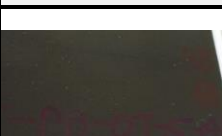
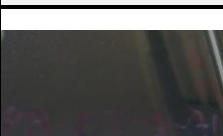
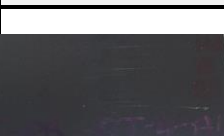
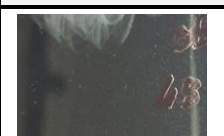
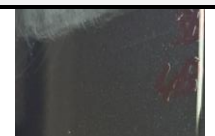
Iz tablica od 47. do 49. je vidljivo kako se tvrdoća površine premaza mijenjala tijekom ispitivanja. Tako se svim uzorcima nakon ispitivanja u uvjetima vlažne komore tvrdoća površine premaza povećala sa 3B na 2B tvrdoću olovke. Razlog povećanja tvrdoće površine premaza je u tome što premaz nakon starenja gubi svoja elastična svojstva i postaje tvrdi. Nema vidljive razlike u tvrdoći završnog akrilnog standardnog bezbojnog laka i završnog akrilnog bezbojnog laka otpornog na ogrebotine, zato što završni akrilni bezbojni laka otporan na ogrebotine svoje ogrebotine uklanja elastičnim povratom za koji treba nekoliko sati biti izloženi UV zračenju, a ispitivanje je napravljeno unutar nekoliko minuta pa za elastični povrat nije bilo vremena.

U tablicama od 50. do 52. su prikazani rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori za uzorke od aluminija.

**Tablica 50. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, aluminijska podloga, punilo naneseo izravno na metal**

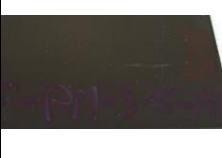

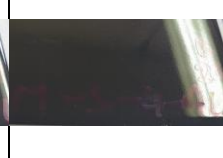


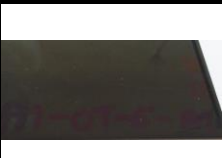
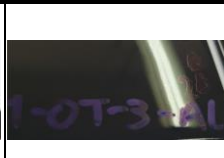
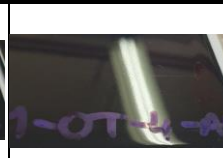


Uzorak	DM-S-5-AL	DM-S-3-AL	DM-S-4-AL	DM-S-1-AL	DM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	DB-S-5-AL	DB-S-3-AL	DB-S-4-AL	DB-S-1-AL	DB-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	DM-OT-5-AL	DM-OT-3-AL	DM-OT-4-AL	DM-OT-1-AL	DM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	DB-OT-5-AL	DB-OT-3-AL	DB-OT-4-AL	DB-OT-1-AL	DB-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B

**Tablica 51. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, aluminijska podloga, naneseni temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-5-AL	T-PM-S-3-AL	T-PM-S-4-AL	T-PM-S-1-AL	T-PM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	T-PB-S-5-AL	T-PB-S-3-AL	T-PB-S-4-AL	T-PB-S-1-AL	T-PB-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	T-PM-OT-5-AL	T-PM-OT-3-AL	T-PM-OT-4-AL	T-PM-OT-1-AL	T-PM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	T-PB-OT-5-AL	T-PB-OT-3-AL	T-PB-OT-4-AL	T-PB-OT-1-AL	T-PB-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B



**Tablica 52. Rezultati ispitivanja tvrdoće premaza olovkama, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-5-AL	F-PM-S-3-AL	F-PM-S-4-AL	F-PM-S-1-AL	F-PM-S-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B
Uzorak	F-PM-OT-5-AL	F-PM-OT-3-AL	F-PM-OT-4-AL	F-PM-OT-1-AL	F-PM-OT-2-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Vlažna komora	Slana komora	Slana komora
Stanje premaza					
Rezultat	3B	2B	2B	3B	3B

Analiza rezultata ispitivanja tvrdoće premaza olovkama za aluminijsku podlogu

Iz tablica od 50. do 52. je vidljivo kako se tvrdoća površine premaza mijenjala tijekom ispitivanja. Jednako kao i kod čelične podloge utvrđeno je povećanje tvrdoće završnog premaza za jedan stupanj nakon izlaganja uvjetima vlažne komore.

#### 4.9. Ispitivanje otpornosti premaza na udar

Ispitivanje otpornosti premaza na udar provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanje se provodi prema normi ISO 6272-1. Mjerenje se zasniva na padu utega, težine 1 kg, pri čemu uteg ostavlja oštećenje na površini premaza. Ovim ispitivanjem je potrebno odrediti visinu spuštanja utega s koje ne dolazi do pucanja premaza. Ispituju se uzorci prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori. Za potrebe ispitivanja kreće se s visinom od 100 cm što je ujedno i najveća moguća visina na ovome uređaju, ako dolazi do pucanja premaza ta visina se smanjuje do one na kojoj neće doći do pucanja premaza. Uređaj i postupak ispitivanja prikazani su na slici 44.















Slika 44. Ispitivanje otpornosti premaza na udar

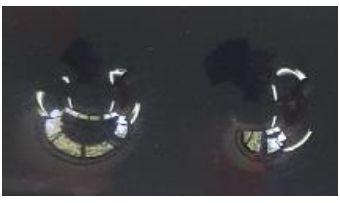



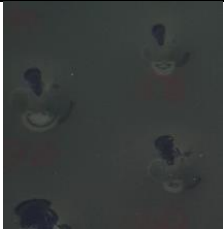







#### 4.9.1. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar

Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori prikazani su u tablicama od 53. do 55. za uzorke od niskougljičnog čelika.

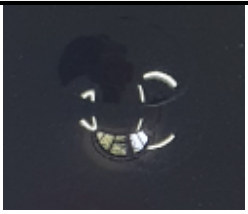

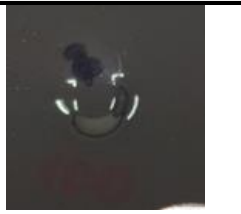
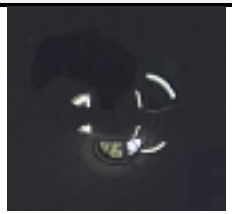


**Tablica 53. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga, punilo naneseo izravno na metal**

Uzorak	DM-S-5	DM-S-3	DM-S-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	100	100
Uzorak	DB-S-5	DB-S-3	DB-S-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	100	100
Uzorak	DM-OT-5	DM-OT-3	DM-OT-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	100	100
Uzorak	DB-OT-5	DB-OT-3	DB-OT-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	100	100

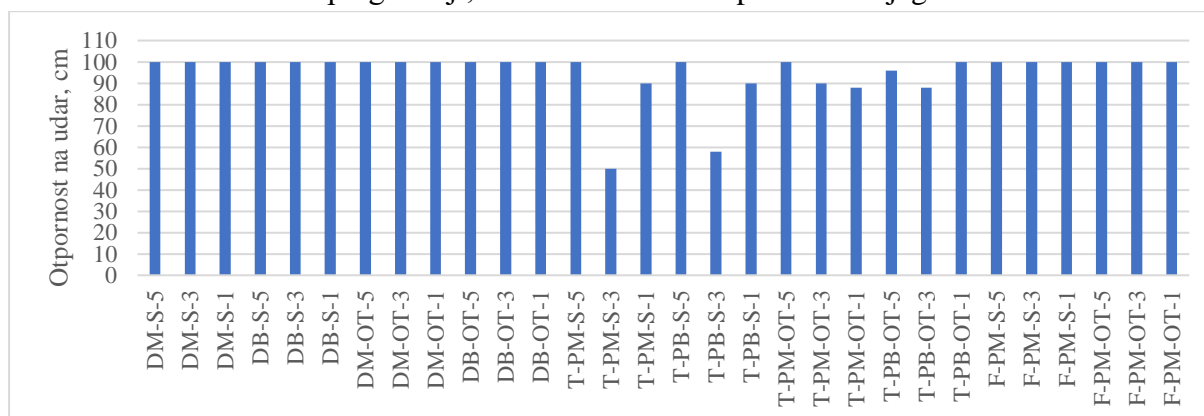
**Tablica 54. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga, nanoseni temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-5	T-PM-S-3	T-PM-S-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	50	90
Uzorak	T-PB-S-5	T-PB-S-3	T-PB-S-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	58	90
Uzorak	T-PM-OT-5	T-PM-OT-3	T-PM-OT-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	90	88
Uzorak	T-PB-OT-5	T-PB-OT-3	T-PB-OT-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	96	88	100

**Tablica 55. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-5	F-PM-S-3	F-PM-S-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	100	100
Uzorak	F-PM-OT-5	F-PM-OT-3	F-PM-OT-1
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	100	100	100

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramom na slici 46.




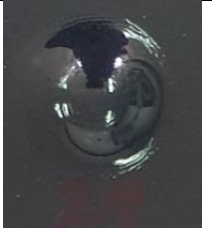






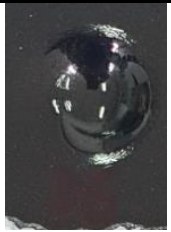



**Slika 45. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, čelična podloga**

#### Analiza rezultata ispitivanja otpornosti premaza na udar za čeličnu podlogu









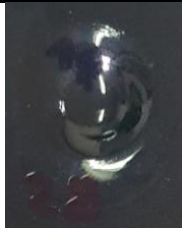



Iz tablica od 53. do 55. i slike 45. je vidljivo kako se otpornost premaza na udar mijenjala tijekom ispitivanja. Otpornost premaza na udar se smanjila nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori samo uzorcima oznake T koji su zaštićeni PVB nagrizaćim temeljnim premazom, poliuretanskim punilom, poliuretanskim vodorazrjeđivim premazom, te akrilnim standardnim i otpornim na ogrebotine bezbojnim premazom. Način nanošenja slijedećeg sloja premaza na punilo, da li je to nanošenje mokro na mokro ili na brušenu površinu brusnim papirom P 600 nije utjecalo na otpornost premaza na udar.

U tablicama od 56. do 58. su prikazani rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar prije i nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori za uzorke od aluminijske podloge.







**Tablica 56. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga, punilo nanoseno izravno na metal**

Uzorak	DM-S-5-AL	DM-S-3-AL	DM-S-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	50	24	36
Uzorak	DB-S-5-AL	DB-S-3-AL	DB-S-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	54	30	38
Uzorak	DM-OT-5-AL	DM-OT-3-AL	DM-OT-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	42	32	36
Uzorak	DB-OT-5-AL	DB-OT-3-AL	DB-OT-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	50	36	36

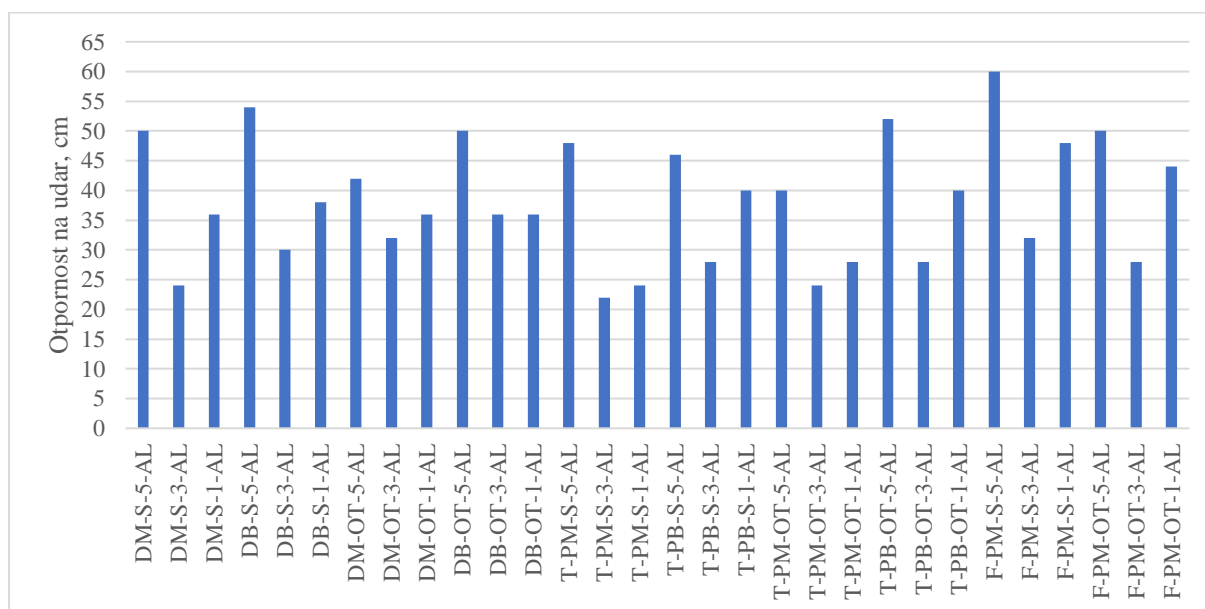
**Tablica 57. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga, nanesei temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-5-AL	T-PM-S-3-AL	T-PM-S-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	48	22	24
Uzorak	T-PB-S-5-AL	T-PB-S-3-AL	T-PB-S-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	46	28	40
Uzorak	T-PM-OT-5-AL	T-PM-OT-3-AL	T-PM-OT-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	40	24	28
Uzorak	T-PB-OT-5-AL	T-PB-OT-3-AL	T-PB-OT-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	52	28	40

**Tablica 58. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-5-AL	F-PM-S-3-AL	F-PM-S-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	60	32	48
Uzorak	F-PM-OT-5-AL	F-PM-OT-3-AL	F-PM-OT-1-AL
Uvjeti ispitivanja	Početni uzorak	Vlažna komora	Slana komora
Stanje premaza			
Rezultat, cm	50	28	44

Kako bi rezultati bili što pregledniji, rezultati su također prikazani dijagramom na slici 46.



**Slika 46. Rezultati ispitivanja otpornosti premaza na udar, aluminijska podloga**



### Analiza rezultata ispitivanja otpornosti premaza na udar za aluminijsku podlogu

Iz tablica od 56. do 58. i slike 46. je vidljivo kako se otpornost premaza na udar mijenjala tijekom ispitivanja. Otpornost premaza na udar se smanjila na svim uzorcima nakon ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori. Uzorci kojima je punilo brušeno brusnim papirom P 600 imaju nešto veću otpornost na udar nego uzorci kojima je slijedeći sloj na punilo nanošen mokro na mokro. Kako su aluminijski uzorci tanji, mekši i duktilniji od čeličnih otpornost na udar im je manja nego uzorcima koji su od čelika. Prilikom ispitivanja na udar uteg kod aluminijskih uzoraka više prodire u uzorak nego kod čeličnih.

#### 4.10. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija

Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS) je metoda istraživanja premaza kod koje je moguće korištenje čistog elektroničkog modela za predočavanje nekog elektrokemijskog sustava. Međufazna granica elektroda – elektrolit na kojoj se odvija elektrokemijska reakcija je zapravo električni krug koji se sastoji od kombinacije otpornika, kondenzatora i zavojnica, pa se tako svaki sustav premaza u dodiru s elektrolitom može prikazati određenim električnim krugom. Impedancija predstavlja otpor tečenju struje u strujnom krugu koji se može sastojati od prije navedenih komponenata. Oznaka za impedanciju je  $Z$ , a ovisi o struji u strujnom krugu i otporu pri određenoj frekvenciji. Struja i napon u ovakvom strujnom krugu također su ovisni o frekvenciji sustava [30, 31].

Ispitivanje elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom (EIS) provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanju su podvrgnuti uzorci pod rednim brojem 6. Ispitivanja su provedena na uređaju VersaSTAT 3, uz program VersaSTUDIO, slika 47. Elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom praćeno je stanje otpora premaza nakon što su uzorci bili uronjeni u 3,5 % otopini NaCl u trajanju od 24 sata, te je nakon 120 sati ponovno provedeno ispitivanje otpora premaza. Referentna elektroda izrađena je od materijala Hastalloy C276 čiji je potencijal  $+0,223$  u odnosu na vodikovu elektrodu, a radnu elektrodu predstavlja mjerni uzorak. Svi ostali parametri prikazani su u tablici 59.



Slika 47. Ispitivanje elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom

Tablica 59. Parametri EIS ispitivanja

	Čelik	Aluminij
Početna frekvencija, Hz	100000	100000
Konačna frekvencija, Hz	0,1	0,1
Amplituda, mV	10	10
Površina ispitivanja, cm <sup>2</sup>	32	32
Gustoća materijala uzorka, kg/m <sup>3</sup>	8,60	2,64
Ekvivalenta gustoća materijala uzorka, g	27,92	9,05

#### 4.10.1. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom

Kako bi se odredile vrijednosti kapaciteta i otpora strujnog kruga uz pomoć programa ZsimpWin se određuje dijagram odgovarajućeg strujnog kruga koji se poklapa sa Nyquistovim dijagramom.

U tablicama od 60. do 62. su prikazani Nyquistovi dijagrami, a u tablici 63. rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom za uzorke od niskougličnog čelika.

**Tablica 60. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga, punilo izravno na metal**

Uzorak	DM-S-6	DM-S-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	DB-S-6	DB-S-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	DM-OT-6	DM-OT-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	DB-OT-6	DB-OT-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		

**Tablica 61. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga, temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-6	T-PM-S-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	T-PB-S-6	T-PB-S-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	T-PM-OT-6	T-PM-OT-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	T-PB-OT-6	T-PB-OT-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		

**Tablica 62. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-6	F-PM-S-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	F-PM-OT-6	F-PM-OT-6
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		

Iz tablica od 60. do 62. je vidljivo kako odabrani strujni krugovi odgovaraju ispitivanim premazima jer se prilagođena i izmjerena vrijednost poklapaju. Da bi se obradili dijagrami prikazani u tablicama dana je tablica 63. u kojoj su prikazani rezultati ispitivanja. Bijela polja su rezultati ispitivanja nakon 24 sata, a polja označena plavom bojom su rezultati ispitivanja nakon 120 sati.

U tablici 63. su prikazani rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom za uzorke od niskougljičnog čelika.

**Tablica 63. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga**

Uzorak	$E_{ocp}$ , mV	$R_1$ , $\Omega\text{cm}^2$	$R_2$ , $\Omega\text{cm}^2$	$R_3$ , $\Omega\text{cm}^2$	$R_{uk}$ , $M\Omega\text{cm}^2$	$C$ , $F/\text{cm}^2$	$Q_{1-y}$ , $F/\text{cm}^2$	$Q_{1-n}$	$Q_{2-y}$ , $F/\text{cm}^2$	$Q_{2-n}$
DM-S-6	384,3	$6,125 \times 10^2$	$8,031 \times 10^7$	-	80,31	$2,46 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	310,08	$3,362 \times 10^2$	$8,179 \times 10^6$	$5,035 \times 10^7$	58,53	-	$1,398 \times 10^{-8}$	0,8791	$3,428 \times 10^{-8}$	0,5483
DB-S-6	298,73	$3,366 \times 10^2$	$6,391 \times 10^7$	-	63,91	$3,181 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	287,99	$2,21 \times 10^2$	$7,811 \times 10^6$	$1,05 \times 10^6$	8,86	-	$1,808 \times 10^{-8}$	0,8563	$3,467 \times 10^{-7}$	1
DM-OT-6	368,96	$5,626 \times 10^2$	$1,16 \times 10^8$	-	116,00	$2,536 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	490,73	$6,85 \times 10^2$	$5,533 \times 10^7$	-	55,33	$4,039 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
DB-OT-6	361,91	$5,951 \times 10^2$	$7,673 \times 10^7$	-	76,73	$2,561 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	351,17	$2,899 \times 10^2$	$6,079 \times 10^7$	-	60,79	$1,394 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
T-PM-S-6	226,65	$2,077 \times 10^2$	$5,155 \times 10^6$	$3,141 \times 10^7$	36,57	-	$6,67 \times 10^{-9}$	0,933	$1,069 \times 10^{-8}$	0,8174
	-78,21	$2,167 \times 10^2$	$1,458 \times 10^5$	$4,534 \times 10^6$	4,68	-	$8,544 \times 10^{-9}$	0,897	$2,407 \times 10^{-8}$	0,5719
T-PB-S-6	247,2	$3,290 \times 10^2$	$8,363 \times 10^7$	-	83,63	$2,719 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	287,69	$1,752 \times 10^2$	$7,005 \times 10^6$	$4,545 \times 10^7$	52,46	-	$1,094 \times 10^{-8}$	0,8768	$7,97 \times 10^{-9}$	0,7508
T-PM-OT-6	264,38	$3,416 \times 10^2$	$6,406 \times 10^7$	-	64,06	$3,36 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	125,75	$6,456 \times 10^3$	$2,89 \times 10^7$	-	28,91	$3,192 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
T-PB-OT-6	332,16	$3,388 \times 10^2$	$8,917 \times 10^7$	-	89,17	$2,652 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	181,87	$2,124 \times 10^2$	$2,840 \times 10^6$	$3 \times 10^6$	5,84	-	$1,486 \times 10^{-8}$	0,8543	$9,99 \times 10^{-8}$	0,7094
F-PM-S-6	259,77	$3,643 \times 10^2$	$1,238 \times 10^8$	-	123,80	$2,259 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	427,55	$4,382 \times 10^2$	$5,718 \times 10^7$	-	57,18	$3,56 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
F-PM-OT-6	199,36	$3,19 \times 10^2$	$1,246 \times 10^8$	-	58,13	$3,018 \times 10^{-9}$	-	-	-	-
	453,31	$3,26 \times 10^2$	$2,969 \times 10^7$	$7,942 \times 10^7$	109,11	-	$1,524 \times 10^{-8}$	0,8641	$1,225 \times 10^{-8}$	0,7034

Legenda:

$E_{ocp}$  – potencijal otvorenog strujnog kruga, mV

$C$  – kapacitet premaza,  $F/\text{cm}^2$

$R_1$  – otpor elektrolita,  $\Omega\text{cm}^2$

$Q_{1-y}$  – kapacitet premaza,  $F/\text{cm}^2$

$R_2$  – otpor premaza,  $\Omega\text{cm}^2$


$Q_{2-y}$  – kapacitet dvosloja,  $F/\text{cm}^2$


$R_3$  – otpor osnovnog metala,  $\Omega\text{cm}^2$

$Q_{1-n}$  – koeficijent svojstva kapacitivnog sloja

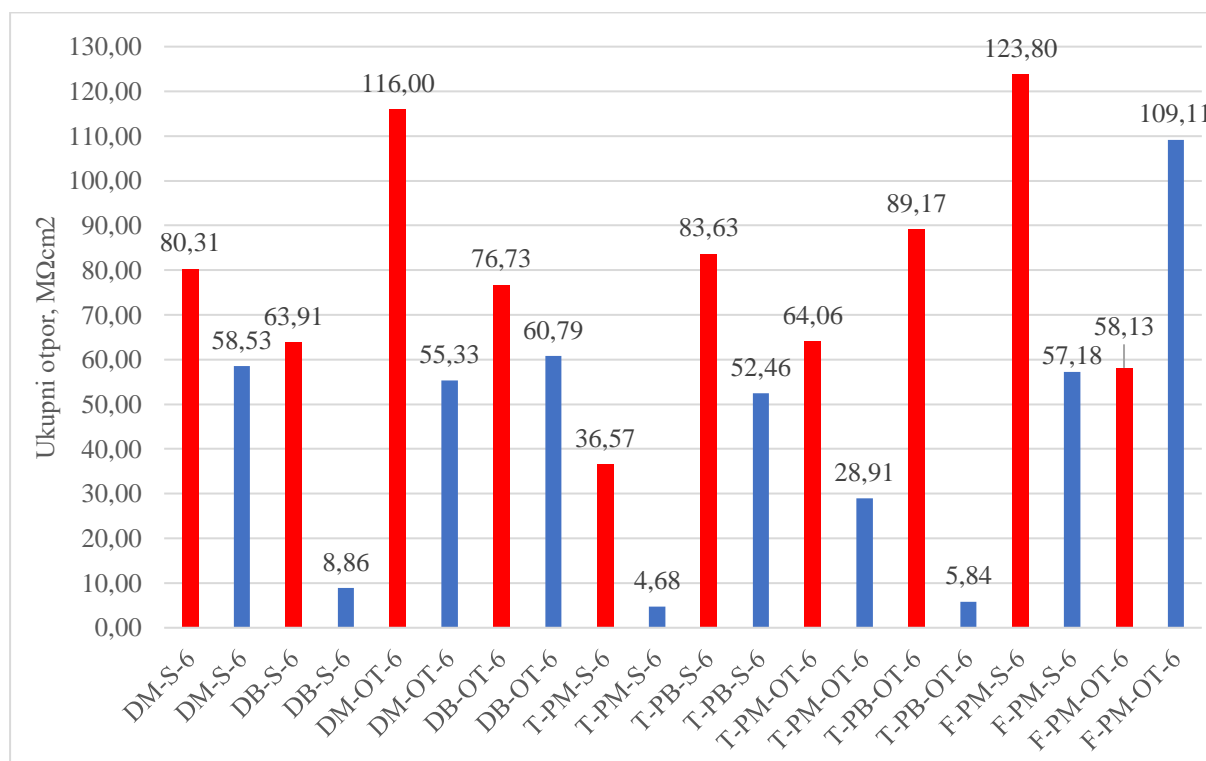
$R_{uk}$  – ukupni otpor,  $\Sigma R_1 + R_2 + R_3$ ,  $M\Omega\text{cm}^2$

$Q_{2-n}$  – koeficijent svojstva kapacitivnog sloja

 - ispitivanje nakon 24 sata

 - ispitivanje nakon 120 sati

Kako bi rezultati bili što pregledniji, ukupni otpor prije i nakon ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom je prikazan dijagramom na slici 48.



Legenda

■ - ispitivanje nakon 24 sata      ■ - ispitivanje nakon 120 sati

**Slika 48. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, čelična podloga**

#### Analiza rezultata ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom za čeličnu podlogu

Iz tablice 63. i slike 48. je vidljivo kako se ukupni otpor mijenjao tijekom ispitivanja. Tako se svim uzorcima nakon 120 sati smanjio ukupni otpor, osim uzorku F-PM-OT-6 kojemu se povećao. Način nanošenja slijedećeg sloja na punilo, da li to bilo mokro na mokro ili brušenje punila, te vrsta bezbojnog premaza nije utjecalo na ukupni otpor. Najveći ukupni otpor nakon 120 sati su zadržali uzorci zaštićeni poliuretanskim punilom koje se nanosi izravno na metal i uzorci kod kojih je fosfatirana površina.



U tablicama od 64. do 66. su prikazani Nyquistovi dijagrami ispitanih uzoraka elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom za uzorke od aluminija.

**Tablica 64. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga, punilo izravno na metal**

Uzorak	DM-S-6-AL	DM-S-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	DB-S-6-AL	DB-S-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	DM-OT-6-AL	DM-OT-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	DB-OT-6-AL	DB-OT-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		

**Tablica 65. Nyquistovi dijagrami ispitanih preaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga, temeljni premaz**

Uzorak	T-PM-S-6-AL	T-PM-S-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	T-PB-S-6-AL	T-PB-S-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	T-PM-OT-6-AL	T-PM-OT-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	T-PB-OT-6-AL	T-PB-OT-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		

**Tablica 66. Nyquistovi dijagrami ispitanih premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga, fosfatiranje podloge**

Uzorak	F-PM-S-6-AL	F-PM-S-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		
Uzorak	F-PM-OT-6-AL	F-PM-OT-6-AL
Nakon sati	24 h	120 h
Nyquistov dijagram		

Iz tablica od 64. do 66. je vidljivo kako odabrani strujni krugovi odgovaraju ispitivanim premazima jer se prilagođena i izmjerena vrijednost poklapaju. Da bi se obradili dijagrami prikazani u tablicama dana je tablica 67. u kojoj su prikazani rezultati ispitivanja. Bijela polja su rezultati ispitivanja nakon 24 sata, a polja označena plavom bojom su rezultati ispitivanja nakon 120 sati.

U tablici 67. su prikazani rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom za uzorke od aluminija.

**Tablica 67. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga**

Uzorak	$E_{ocp}$ , mV	$R_1$ , $\Omega\text{cm}^2$	$R_2$ , $\Omega\text{cm}^2$	$R_3$ , $\Omega\text{cm}^2$	$R_{uk}$ , $M\Omega\text{cm}^2$	$C$ , $\text{F}/\text{cm}^2$	$Q_{1-y}$ , $\text{F}/\text{cm}^2$	$Q_{1-n}$	$Q_{2-y}$ , $\text{F}/\text{cm}^2$	$Q_{2-n}$
DM-S-6- AL	-483,37 -559,43	$5,577 \times 10^2$ $2,479 \times 10^2$	$5,126 \times 10^7$ $2,12 \times 10^7$	- $5,071 \times 10^7$	51,26 71,91	$4,538 \times 10^{-9}$ -	- $1,746 \times 10^{-8}$	- 0,8778	- $1,388 \times 10^{-8}$	- 0,8654
DB-S-6- AL	-481,84 -610,96	$3,402 \times 10^2$ $2,619 \times 10^2$	$6,485 \times 10^7$ $8,273 \times 10^6$	- $7,087 \times 10^7$	64,85 79,14	$2,672 \times 10^{-9}$ -	- $1,326 \times 10^{-8}$	- 0,9034	- $1,46 \times 10^{-8}$	- 0,708
DM-OT- 6-AL	-514,96 -641,94	$3,157 \times 10^2$ $2,719 \times 10^2$	$7,227 \times 10^7$ $1,302 \times 10^7$	- $4,348 \times 10^7$	72,27 56,50	$2,610 \times 10^{-9}$ -	- $1,362 \times 10^{-8}$	- 0,8951	- $1,33 \times 10^{-8}$	- 0,8544
DB-OT-6- AL	-463,13 -655,12	$3,829 \times 10^2$ $2,349 \times 10^2$	$6,07 \times 10^3$ $2,21 \times 10^3$	$4,847 \times 10^7$ $3,714 \times 10^7$	48,48 37,14	- -	$1,647 \times 10^{-8}$ $2,699 \times 10^{-9}$	0,8056 1	$1,549 \times 10^{-9}$ $2,237 \times 10^{-8}$	1 0,7889
T-PM-S- 6-AL	-664,63 -538,57	$2,289 \times 10^2$ $1,423 \times 10^2$	$1,214 \times 10^6$ $3,994 \times 10^4$	$2,542 \times 10^6$ $3,775 \times 10^6$	3,76 3,82	- -	$1,515 \times 10^{-8}$ $1,407 \times 10^{-8}$	0,8489 0,8772	$9,546 \times 10^{-8}$ $2,763 \times 10^{-8}$	0,688 0,6737
T-PB-S-6- AL	-851,11 -573,85	$1,278 \times 10^2$ $2,154 \times 10^2$	$4,03 \times 10^6$ $2,207 \times 10^5$	$6,504 \times 10^7$ $3,036 \times 10^5$	69,07 0,52	- -	$8,33 \times 10^{-9}$ $1,411 \times 10^{-7}$	0,9136 0,6404	$1,019 \times 10^{-8}$ $3,511 \times 10^{-7}$	0,7877 0,9354
T-PM- OT-6-AL	-661,87 -188,32	$8,567 \times 10^2$ $3,301 \times 10^2$	$1,148 \times 10^8$ $5,563 \times 10^5$	- $2,485 \times 10^7$	114,80 25,41	$5,3 \times 10^{-10}$ -	- $1,938 \times 10^{-8}$	- 0,8608	- $3,636 \times 10^{-8}$	- 0,7917
T-PB-OT- 6-AL	-623,84 -435,52	$2,898 \times 10^2$ $3,051 \times 10^2$	$4,066 \times 10^7$ $5,959 \times 10^6$	- $3,548 \times 10^7$	40,66 41,44	$2,622 \times 10^{-9}$ -	- $1,180 \times 10^{-8}$	- 0,9057	- $1,224 \times 10^{-8}$	- 0,8079
F-PM-S- 6-AL	-637,34 -503,92	$1,226 \times 10^2$ $5,457 \times 10^1$	$1,946 \times 10^5$ $7,389 \times 10^3$	$2,058 \times 10^6$ $9,215 \times 10^4$	2,25 0,10	- -	$7,629 \times 10^{-9}$ $2,136 \times 10^{-7}$	0,9044 0,6611	$3,885 \times 10^{-8}$ $1,536 \times 10^{-6}$	0,7262 0,6504
F-PM- OT-6-AL	-725,97 -342,59	$3,766 \times 10^2$ $1,59 \times 10^2$	$5,999 \times 10^7$ $4,807 \times 10^3$	- $5,113 \times 10^7$	59,99 51,33	$2,58 \times 10^{-9}$ -	- $1,462 \times 10^{-8}$	- 0,817	- $1,87 \times 10^{-9}$	- 1

Legenda:

$E_{ocp}$  – potencijal otvorenog strujnog kruga, mV

$R_1$  – otpor elektrolita,  $\Omega\text{cm}^2$

$R_2$  – otpor premaza,  $\Omega\text{cm}^2$

$R_3$  – otpor osnovnog metala,  $\Omega\text{cm}^2$

$R_{uk}$  – ukupni otpor,  $\Sigma R_1 + R_2 + R_3$ ,  $M\Omega\text{cm}^2$

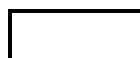
$C$  – kapacitet premaza,  $\text{F}/\text{cm}^2$


$Q_{1-y}$  – kapacitet premaza,  $\text{F}/\text{cm}^2$

$Q_{2-y}$  – kapacitet dvosloja,  $\text{F}/\text{cm}^2$

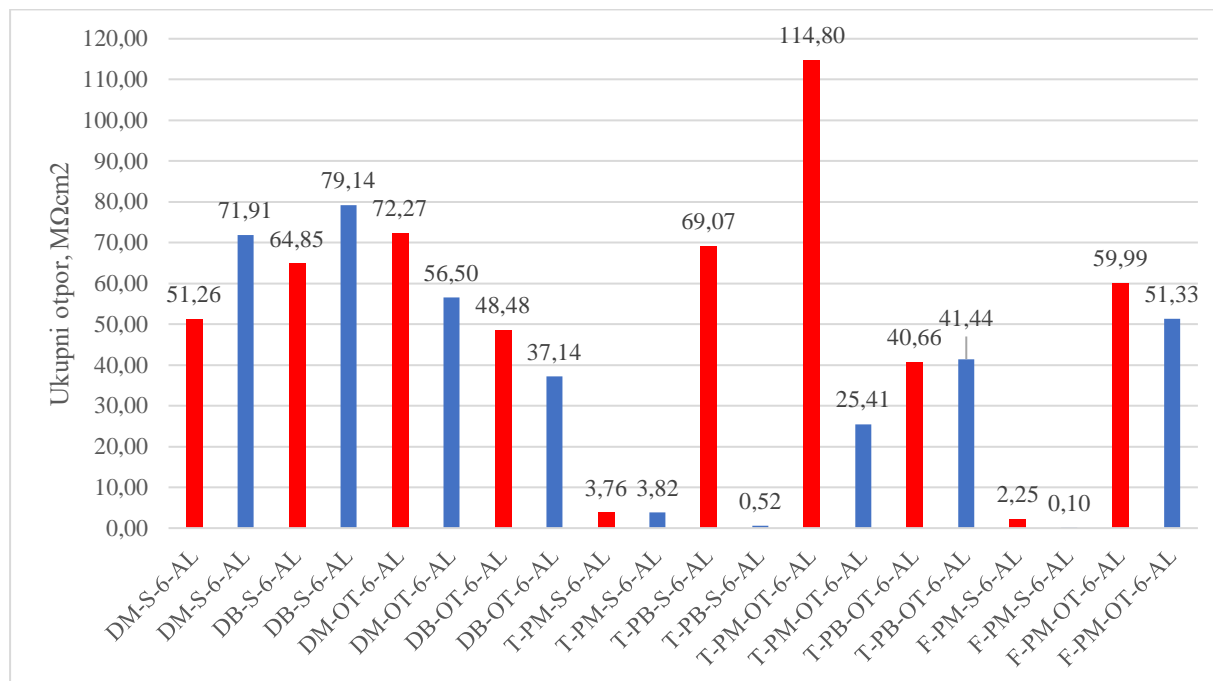
$Q_{1-n}$  – koeficijent svojstva kapacitivnog sloja

$Q_{2-n}$  – koeficijent svojstva kapacitivnog sloja

 - ispitivanje nakon 24 sata

 - ispitivanje nakon 120 sati

Kako bi rezultati bili što pregledniji, ukupni otpor prije i nakon ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom je prikazan dijagramom na slici 49.



Legenda



- ispitivanje nakon 24 sata



- ispitivanje nakon 120 sati

**Slika 49. Rezultati ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, aluminijska podloga**

#### Analiza rezultata ispitivanja premaza elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom za aluminijsku podlogu

Iz tablice 67. i slike 49. je vidljivo kako se ukupni otpor mijenjao tijekom ispitivanja. Tako se uzrocima oznake T koji su zaštićeni PVB nagrizavajućim temeljnim premazom najviše smanjio ukupni otpor. Način nanošenja slijedećeg sloja na punilo, da li to bilo mokro na mokro ili brušenje punila, te vrsta bezbojnog premaza nije utjecalo na ukupni otpor. Najveći ukupni otpor nakon 120 sati su zadržali uzorci zaštićeni poliuretanskim punilom koje se nanosi izravno na metal.

## 5. ZAKLJUČAK

Zaštita od korozije premazima je osnovna metoda zaštite karoserija automobila, stoga je potrebno njihovo daljnje razvijanje da bi se omogućila trajna i kvalitetna zaštita od korozije, a u isto vrijeme lijep i trajan izgled automobila. Bitni faktori koji dovode do razvijanja i korištenja naprednih premaza su zaštita od korozije, estetske karakteristike, izdržljivost premaza, troškovi i ekološki zahtjevi te mogućnost što masovnije proizvodnje. Da bi se smanjili troškovi i emisija štetnih hlapljivih spojeva iz premaza smanjuje se broj i debljina nanesenih slojeva premaza. Vrijeme nanošenja premaza, materijal i emisija štetnih plinova se smanjuje uvođenjem sustava sa tri mokra nanošenja premaza, te uvođenjem integriranog sustava nanošenja premaza. Da bi automobili zadržali što dulje svoj novi izgled uvodi se inovativni bezbojni lak otporan na ogrebotine koji posjeduje iznimno svojstvo elastičnog povrata ili reflow effect.

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su ispitivanja sustava premaza sa standardnim bezbojnim premazom i bezbojnim premazom otpornim na ogrebotine.

Ispitivanjem je utvrđeno kako najveći stupanj sjaja prije i nakon izlaganja vlažnoj i slanoj komori posjeduju uzorci na koje je nanesen završni bezbojni premaz otporan na ogrebotine. Ispitivanjem u UV komori je dokazano kako uzorak na koji je nanesen završni bezbojni premaz otporan na ogrebotine posjeduje svojstvo elastičnog povrata, tj. nastale ogrebotine se smanjuju tijekom izlaganja UV svjetlu.

Najotporniji sustav premaza na mjehuranje (tj. nije se pojavilo mjehuranje) je sustav kod kojeg je površina uzorka fosfatirana. Ispitivanjima u uvjetima slane komore utvrđeno je kako su svi uzorci otporni na koroziju oko ureza, a najbolju otpornost imaju uzorci kod kojih je fosfatirana površina. Najlošiju prionjivost premaza prije i nakon izlaganja vlažnoj i slanoj komori imaju uzorci kod kojih je nanesen nagrizaajući temeljni PVB premaz. Ispitivanjem prionjivosti premaza je utvrđeno kako način nanošenja idućeg premaza na punilo, bilo to mokro na mokro ili brušenje punila, nema utjecaj na prionjivost.

Ispitivanjem tvrdoće premaza olovkama je utvrđeno povećanje tvrdoće završnog premaza za jedan stupanj nakon izlaganja uvjetima vlažne komore. Ispitivanjem otpornosti premaza na udar je utvrđeno kako uzorci na koje je nanoseno poliuretansko punilo izravno na metal unatoč pojavi mjehuranja zadržavaju maksimalnu otpornost na udar, dok fosfatirani uzroci zadržavaju maksimalnu otpornost na udar bez pojave mjehuranja.

Elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom je utvrđeno da najveći ukupni otpor nakon 120 sati zadržavaju uzorci zaštićeni poliuretanskim punilom koje se nanosi izravno na metal.

## LITERATURA

- [1] Juraga I., Šimunović V., Stojanović I., Alar V.: Mehanizmi zaštite od korozije, FSB, Zagreb, 2012.
- [2] Tehnika motornih vozila, Hrvatska obrtnička komora, Pučko otvoreno učilište Zagreb, 2006.
- [3] Science around us, Innovations from BASF illustratively explained, Car finish: higher gloss fewer scratches, BASF, Njemačka, 2012.
- [4] <https://phys.org/news/2018-09-auto-coatings-surface.html> (pristupio 30.03.2019.)
- [5] Akafuah N. K., Poozesh S., Salaimh A., Patrick G., Lawler K., Saito K., Evolution of the Automotive Body Coating Process-A Review, MDPI, Coatings, 6 (2), 2016.
- [6] <https://automotivemanufacturingsolutions.com/process-materials/paint-trends-in-the-automotive-industry> (pristupio 30.03.2019.)
- [7] <https://www.pressebox.com/pressrelease/acp-advanced-clean/The-BMW-works-in-Landshut-introduces-CO2-snow-jet-cleaning-before-painting-plastic-components/boxid/317333> (pristupio 30.03.2019.)
- [8] D. Raljević, D. Sokač :SO6-22 Čišćenje pod naponom – granulama ugljikovog (IV) oksida (suhim ledom), CIRED, 2018.
- [9] Altuncu E., Üstel F., Esen S. G., Karayel E., Influence of oxygen and nitrogen plasma treatment on polypropylene (PP) bumper surface, AMME, OCSCO, Turska, 2016.
- [10] Goldschmidt A., Streitberger H. J.: Handbook, Basics of coating technology, BASF, Njemačka, 2018.
- [11] <http://scanteco.dk/flame-treating/> (pristupio 30.03.2019.)
- [12] [https://www.paint.org/article/automotive-three-wet-coatings/?fbclid=IwAR3ZWURoRTgvNf5fNovjh72owx1v3rJaU9HkvRUrgalmuT9IvD4\\_eU419cs](https://www.paint.org/article/automotive-three-wet-coatings/?fbclid=IwAR3ZWURoRTgvNf5fNovjh72owx1v3rJaU9HkvRUrgalmuT9IvD4_eU419cs) (pristupio 30.03.2019.)
- [13] [https://www.mazda.com/en/innovation/technology/env/other/paint\\_tech](https://www.mazda.com/en/innovation/technology/env/other/paint_tech) (pristupio 30.03.2019.)
- [14] Kamieth M., BASF's Coatings Division: Focusing on growth and value, BASF, Njemačka, 2012.
- [15] Hughes A. E., Mol J. M. C., Zheludkevich M. L., Buchheit R. G.: Active Protective Coatings, New-Generation Coatings for Metals, Springer, 2016.
- [16] Streitberger H. J., Dossel K. F., Automotive Paints and Coatings, WILEY-VCH, Njemačka, 2008.



- [17] Andersson B., Modeling and simulation of rotary bell spray atomizers in automotive paint shops, Chalmers, Švedska, 2013.
- [18] Glasurit, Tehničke informacije 923-447, Iviček d.o.o., Zagreb
- [19] <https://interestingengineering.com/this-self-cleaning-car-paint-could-put-car-washes-out-of-business> (pristupio 31.03.2019.)
- [20] <https://www.geico.com/more/driving/auto/auto-care/high-tech-car-paints/> (pristupio 31.03.2019.)
- [21] <https://www.basf.com/global/en/media/science-around-us/car-finish-higher-gloss-and-fewer-scratches.html> (pristupio 06.03.2019.)
- [22] <https://polymerinnovationblog.com/uv-curing-part-four-every-body-gets-acrylated/> (pristupio 07.03.2019.)
- [23] <https://www.gesswein.com/p-8297-3m-half-facepiece-respirator-7502.aspx> (pristupio 13.03.2019.)
- [24] <https://brunner-karosseriefachbetrieb.de/leistungen/lackierer-nuernberg/> (pristupio 13.03.2019.)
- [25] Glasurit, Lakiranje osobnih vozila i tehničke informacije, Iviček d.o.o., Zagreb
- [26] [http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro\\_Gloss.pdf](http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro_Gloss.pdf) (pristupio 20.06.2019.)
- [27] Podloge za vježbe, Mehanizmi zaštite od korozije, FSB, Zagreb
- [28] ISO 4628-2, Boje i lakovi, Procjena propadanja prevlaka, Označivanje količine i veličine grešaka i intenzivnosti jednoličnih promjena izgleda
- [29] Juraga I., Alar V., Stojanović I.: Korozija i zaštita premazima, FSB, Zagreb, 2014.
- [30] Jukić A., Gorivni Članci, Elektrokemijska impedancijska spektroskopija, Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju, FKIT, 2008/9
- [31] Turk F.: Visokoučinkoviti vodorazrjedivi premazi, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2017.

## **PRILOZI**

### **I. CD-R disc**