

# Protupožarni premazi za zaštitu čeličnih konstrukcija

---

**Boras, Ivan-Pavao**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:702726>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Ivan-Pavao Boras**

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# PROTUPOŽARNI PREMAZI ZA ZAŠTITU ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović, dipl. ing.

Student:

Ivan-Pavao Boras

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Ivanu Stojanoviću, dipl. ing. na ukazanoj pomoći, uputama i savjetima tokom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se dipl. ing. Ivanu Fatoviću na pomoći pri ispitivanjima, dipl. ing. Šejli Zukić na danim savjetima i bacc. ing. el. Daliboru Denkoviću na pomoći pri požarnim ispitivanjima i prof. dr. sc. Ivici Garašiću na ustupanju opreme i Laboratorija za zavarene konstrukcije tijekom protupožarnih ispitivanja.

Zahvaljujem se tvrtkama Helios i Hempel na materijalima za provedbu ispitivanja.

Zahvaljujem se svim svojim prijateljima koji su me podržali i poticali tokom studiranja, a posebno Josipu, Nikoli Dini i Yulii koji su cijelo vrijeme bili uz mene.

Najviše zahvaljujem svojoj obitelji čiji je ovo zajednički uspjeh, braći koja su bila tu uz mene, mami koja me natjerala na završetak studija i tati strojaru (mašincu) čijim sam stopama krenuo.

Hvala Vam svima od srca,

Ivan-Pavao Boras



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan-Pavao Boras** JMBAG: 0035215949

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Protupožarni premazi za zaštitu čeličnih konstrukcija**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Fire protective coatings for steel structures**

Opis zadatka:

Protupožarni premazi osiguravaju stabilnost čeličnih konstrukcija izloženih požaru, a također moraju biti korozijski postojani na okolinu u kojoj se koriste.

U radu je potrebno opisati organske premaze, komponente u premazu i njihovu funkciju. Detaljnije obraditi protupožarne premaze, opisati mehanizam zaštite, vrste protupožarnih premaza, prednosti i nedostatke te područje primjene. Navesti smjernice za projektiranje zaštite čeličnih konstrukcija protupožarnim premazima.

U eksperimentalnom dijelu rada nanijeti protupožarne premaze na uzorke od nelegiranog čelika. Ispitati vatrootpornost premaza i otpornost prema koroziji u agresivnom mediju u slanoj i vlažnoj komori. Odrediti fizikalna svojstva premaza prije i nakon izlaganja u komorama. Komentirati dobivene rezultate te dati zaključak.

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

Zadatak zadan:

7. ožujka 2024.

Datum predaje rada:

9. svibnja 2024.

Predvideni datumi obrane:

13. – 17. svibnja 2024.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	17
1.1. OPĆENITO O KOROZIJI .....	17
1.2. VRSTE KOROZIJE .....	18
1.3. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE .....	18
1.4. ZAŠTITNI PREMAZI.....	20
2. VRSTE ORGANSKIH PREMAZA .....	21
2.1. PRAŠKASTI PREMAZI .....	22
2.2. PREMAZI KOJI OTVRDNJAVAJU ZRAČENJEM .....	23
2.3. PREMAZI S VISOKOM SUHOM TVARI.....	23
2.4. VODOTOPIVI I VODORAZRJEDIVI PREMAZI.....	24
3. OSNOVNE KOMPONENTE PREMAZA .....	25
3.1. VEZIVO .....	25
3.1.1. <i>Alkidi</i> .....	26
3.1.2. <i>Epoksidi</i> .....	31
3.1.3. <i>Akrilne smole</i> .....	34
3.1.4. <i>Vinilna smola</i> .....	37
3.1.6. <i>Polisiloksani</i> .....	43
3.2. OTAPALA .....	48
3.2.1. <i>Kootapala</i> .....	48
3.2.2. <i>Hlapivost</i> .....	49
3.3. PIGMENTI.....	50
3.3.1. <i>Pigment i boja</i> .....	50
3.3.2. <i>Organski pigmenti</i> .....	50
3.3.3. <i>Anorganski pigmenti</i> .....	51
3.4. PUNILA.....	52
3.5. ADITIVI .....	52
3.5.1. <i>Sušila i katalizatori</i> .....	53
3.5.2. <i>Konzervansi</i> .....	54
3.5.3. <i>Svjetlosni stabilizatori</i> .....	55
3.5.4. <i>Korozijski inhibitori</i> .....	55
3.5.5. <i>Aditivi za poboljšanje izgleda površine</i> .....	56

3.5.6. Okvašivači i disperzanti .....	56
4. PROJEKTIRANJE ZAŠTITE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA .....	57
5. PROTUPOŽARNI PREMAZI .....	61
5.1. VRSTE PASIVNE ZAŠTITE ČELIKA OD POŽARA .....	62
5.2. OSNOVNE VRSTE POŽARA .....	63
5.3. EKSPANDIRAJUĆI PREMAZI .....	64
5.4. PROTUPOŽARNI SUSTAV PREMAZA .....	65
5.5. SASTAV PROTUPOŽARNOG PREMAZA .....	66
5.6. POSTUPAK STVARANJA EKSPANDIRAJUĆEG SLOJA .....	67
5.7. ISPITIVANJE PROTUPOŽARNE ZAŠTITE PREMA NORMI ETAG 018-2 .....	69
6. PROJEKTIRANJE PROTUPOŽARNE ZAŠTITE .....	70
6.1. ATMOSFERSKA IZLOŽENOST KONSTRUKCIJE .....	71
6.2. KRITIČNA TEMPERATURA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA .....	71
6.3. ODREĐIVANJE DEBLJINE KONSTRUKCIJE .....	72
6.4. OTPORNOST NA POŽAR .....	76
7. EKSPERIMENTALNI DIO .....	79
7.1. PROTUPOŽARNI SUSTAVI .....	80
7.1.1. <i>Helios protupožarni sustav</i> .....	80
7.1.2. <i>Hempel protupožarni sustav</i> .....	81
7.3. NANOŠENJE TEMELJNOG PREMAZA .....	83
7.3.1. <i>Priprema temeljnog premaza</i> .....	83
7.3.2. <i>Oprema za nanošenje temeljnog premaza</i> .....	85
7.3.3. <i>Nanošenje temeljnog premaza</i> .....	85
7.3.4. <i>Sušenje temeljnih premaza</i> .....	86
7.4. NANOŠENJE PROTUPOŽARNIH PREMAZA .....	87
7.4.1. <i>Priprema protupožarnog premaza</i> .....	87
7.4.2. <i>Oprema za nanošenje protupožarnog premaza</i> .....	88
7.4.3. <i>Nanošenje protupožarnog premaza</i> .....	88
7.5. NANOŠENJE ZAVRŠNOG PREMAZA .....	90
7.5.1. <i>Pripremanje završnog premaza</i> .....	90
7.5.2. <i>Oprema za nanošenje završnog premaza</i> .....	92
7.5.3. <i>Nanošenje završnog premaza</i> .....	92
7.6. ISPITIVANJE DEBLJINE PREMAZA .....	94
7.7. ISPITIVANJE U SLANOJ KOMORI .....	97

7.7.1. Ispitivanje korozije oko zareza .....	98
7.7.2. Rezultati ispitivanja korozije oko zareza .....	101
7.7.3. Rezultati ispitivanja u slanoj komori .....	102
7.8. ISPITIVANJE U VLAŽNOJ KOMORI.....	104
7.8.1. Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori.....	106
7.9. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI .....	107
7.9.1. X-cut ispitivanje.....	107
7.9.2. Pull-off ispitivanje .....	109
7.10. ISPITIVANJE TVRDOĆE SHORE D METODOM .....	111
7.11. ISPITIVANJE PROTUPOŽARNOSTI.....	112
7.11.1. Ispitivanje protupožarnosti s ručnim plamenikom.....	112
7.11.2. Ispitivanje protupožarnosti s plamenikom za plinsko zavarivanje .....	117
8. ANALIZA REZULTATA.....	123
8.1. ANALIZA ISPITIVANJA DEBLJINE PREMAZA .....	123
8.2. ANALIZA ISPITIVANJA U SLANOJ KOMORI .....	125
8.3. ANALIZA ISPITIVANJA U VLAŽNOJ KOMORI .....	126
8.4. ANALIZA ISPITIVANJA PRIONJIVOSTI X-CUT METODOM.....	127
8.5. ANALIZA ISPITIVANJA PRIONJIVOSTI PULLOFF METODOM .....	128
8.6. ANALIZA ISPITIVANJA SHORE D METODOM.....	129
8.7. ANALIZA ISPITIVANJA PROTUPOŽARNOSTI RUČNIM PLAMENIKOM.....	130
8.8. ANALIZA ISPITIVANJA PROTUPOŽARNOSTI PLAMENIKOM ZA PLINSKO ZAVARIVANJE .....	134
8.8.1. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti KLASA60 .....	136
8.8.2. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti KLASA30 .....	140
8.8.3. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti HEL 30/60.....	144
8.8.4. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti HEM 30/60.....	146
8.9. ANALIZA ISPITIVANJA DEBLJINE PJENE .....	150
9. ZAKLJUČAK.....	153
10. LITERATURA.....	154



**POPIS SLIKA**

Slika 1 Reakcija između triola i ulja za sušenje. [5] .....	26
Slika 2 Nastajanje alkidnog polimera iz reakcija monoglicerida s anhidridom. [5] .....	27
Slika 3 Sinteza BPA iz fenola i acetona. [6] .....	33
Slika 4 Opća formula akrilnog polimera. [8] .....	35
Slika 5 Kopolimer vinil klorida i vinil acetata. [9] .....	38
Slika 6 Sinteza poliuretana iz izocijanata i diola. [11] .....	41
Slika 7 Protupožarni sustav zaštite .....	65
Slika 8 Formirana termoizolacijska pjena nakon požara. ....	68
Slika 9 Izračun za sekciju dužine L [22] .....	74
Slika 10 Faktor profila za profile sa i bez podloge [22] .....	74
Slika 11 Kutijasti i profilirani oblik zaštite čelične grede [22] .....	74
Slika 12 Usporedba faktora profila nosača [22] .....	75
Slika 13 Nosivost R [25] .....	76
Slika 14 Cjelovitost E [25] .....	77
Slika 15 Izolativnost I [25] .....	78
Slika 16 Ispitna pločica .....	82
Slika 17 ELCOMETER 224 .....	82
Slika 18 Komponente Helios temelja .....	84
Slika 19 Miješanje Helios komponenti .....	84
Slika 20 Komponente Hempel temelja .....	84
Slika 21 Miješanje Hempel komponenti .....	84
Slika 22 Nanošenje Helios temeljnog premaza .....	85
Slika 23 Nanošenje Hempel temeljnog premaza .....	85
Slika 24 Sušenje Helios temeljnog premaza .....	86
Slika 25 Sušenje Hempel temeljnog premaza .....	86
Slika 26 Helios protupožarni premaz .....	87
Slika 27 Hempel protupožarni premaz .....	87
Slika 28 Spiralni aplikator od 400 $\mu\text{m}$ .....	88
Slika 29 Helios protupožarni premaz uzorci .....	89
Slika 30 Hempel protupožarni premaz uzorci .....	89
Slika 31 Komponente Helios završnog premaza .....	91
Slika 32 Miješanje Helios završnog premaza .....	91

Slika 33 Komponente Hempel završnog premaza .....	91
Slika 34 Miješanje Hempel završnog premaza .....	91
Slika 35 Spiralni aplikator od 100 $\mu\text{m}$ .....	92
Slika 36 Helios završni premaz .....	93
Slika 37 Hempel završni premaz .....	93
Slika 38 Sustav premaza HEL60 .....	94
Slika 39 Sustav premaza HEM60 .....	94
Slika 40 Sustav premaza HEL30 .....	94
Slika 41 Sustav premaza HEM30 .....	94
Slika 42 Inspektorski set .....	95
Slika 43 Mjerenje pomoću uređaja Elcometer 456 .....	95
Slika 44 Slana komora .....	97
Slika 45 Uzorci u slanoj komori .....	97
Slika 46 Nož za urezivanje .....	98
Slika 47 Uzorak H2 prije slane komore .....	99
Slika 48 Uzorak H7 prije slane komore .....	99
Slika 49 Uzorak D1 prije slane komore .....	99
Slika 50 Uzorak 1 prije slane komore .....	99
Slika 51 Uzorak 4 prije slane komore .....	99
Slika 52 Uzorak B1 prije slane komore .....	99
Slika 53 Stupanj korozije oko ureza prema normi HRN EN ISO 4628-8 [27] .....	100
Slika 54 Pločica H7 nakon slane komore .....	101
Slika 55 Pločica 1 nakon slane komore .....	101
Slika 56 Pločica D1 nakon slane komore .....	101
Slika 57 Pločica B1 nakon slane komore .....	101
Slika 58 Stupanj mjehuranja premaza prema normi HRN EN ISO 4628-2 [28] .....	103
Slika 59 Vlažna komora .....	104
Slika 60 Uzorci u vlažnoj komori .....	104
Slika 61 Pločica H4 nakon vlažne komore .....	105
Slika 62 Pločica H6 nakon vlažne komore .....	105
Slika 63 Pločica D2 nakon vlažne komore .....	105
Slika 64 Pločica 5 nakon vlažne komore .....	105
Slika 65 Pločica 7 nakon vlažne komore .....	105
Slika 66 Pločica B2 nakon vlažne komore .....	105
Slika 67 X-cut ocjena prema normi HRN EN ISO 16276-2 [29] .....	107

Slika 68 X-cut H1 .....	108
Slika 69 X-cut H2 .....	108
Slika 70 X-cut H4 .....	108
Slika 71 X-cut D1 .....	108
Slika 72 X-cut D2 .....	108
Slika 73 X-cut D3 .....	108
Slika 74 X-cut 2 .....	108
Slika 75 X-cut 4 .....	108
Slika 76 X-cut 5 .....	108
Slika 77 X-cut B1 .....	108
Slika 78 X-cut B2 .....	108
Slika 79 X-cut B3 .....	108
Slika 80 Pull-off uređaj Elcometer 406 .....	109
Slika 81 Pull off H1 .....	110
Slika 82 Pull off D3 .....	110
Slika 83 Pull off 2 .....	110
Slika 84 Pull off B3 .....	110
Slika 85 PosiTector 6000 .....	111
Slika 86 Ručni plamenik i ispitna zona .....	112
Slika 87 Mjerenje temperature uzoraka sa stražnje strane ispitne pločice .....	113
Slika 88 Paljenje uzorka H5 .....	113
Slika 89 Mjerenje debljine pjene na H5 uzorku pomoću pomične mjerke .....	116
Slika 90 Pločice H3;H5;H7 i 1;3;6;7 nakon paljenja .....	116
Slika 91 Paljenje uzorka H4 plamenikom za plinsko zavarivanje .....	117
Slika 92 Mjerenje pjene na ispitnom uzorku 2 .....	121
Slika 93 Pločice H1;H2;H4 i 2;4;5 nakon paljenja .....	122
Slika 94 Pločice D1;D2;D3 i B1;B2;B3 nakon paljenja .....	122

**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Hrapavost površine	82
Tablica 2 Oznake ispitnih uzoraka	95
Tablica 3 Izmjerene debljine svih slojeva u $\mu\text{m}$	96
Tablica 4 Rezultati ispitivanja nakon 240 h slane komore.	102
Tablica 5 Rezultati ispitivanja nakon 120 h vlažne komore	106
Tablica 6 Rezultati Pull off ispitivanja u MPa	110
Tablica 7 Rezultati tvrdoće prema Shore D metodi	111
Tablica 8 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom do 30 min	114
Tablica 9 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom od 30 min	115
Tablica 10 Izmjerena debljina pjene u $\mu\text{m}$	116
Tablica 11 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30	118
Tablica 12 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 do 30 min	119
Tablica 13 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 od 30 min	120
Tablica 14 Izmjerena debljina pjene u $\mu\text{m}$ za KLASA 30	122
Tablica 15 Izmjerena debljina pjene u $\mu\text{m}$ za KLASA 60	122

## POPIS GRAFOVA

Graf 1 Grafički prikaz izmjerenih debljina svih slojeva ispitnih uzoraka u $\mu\text{m}$ .....	124
Graf 2 Grafički prikaz rezultata ispitivanja u slanoj komori.....	125
Graf 3 Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori.....	126
Graf 4 Analiza rezultata X-cut ispitivanja.....	127
Graf 5 Rezultati Pull off ispitivanja u MPa .....	128
Graf 6 Rezultati Shore D ispitivanja.....	129
Graf 7 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom za sve uzorke .....	130
Graf 8 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka Helios sustava premaza .....	131
Graf 9 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka Hempel sustava premaza .....	131
Graf 10 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka pri atmosferskim uvjetima.....	132
Graf 11 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka u vlažnoj komori .....	133
Graf 12 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka u slanoj komori .....	133
Graf 13 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka svi rezultati .....	135
Graf 14 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA 60.....	136
Graf 15 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL60 .....	137
Graf 16 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM60 .....	137
Graf 17 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 u slanoj komori .....	138
Graf 18 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 u vlažnoj komori.....	139
Graf 19 Izmjerene vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 pri atmosferskim uvjetima .....	139

Graf 20 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30.....	140
Graf 21 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30 .....	141
Graf 22 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30 .....	141
Graf 23 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30 u slanoj komori .....	142
Graf 24 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30 u vlažnoj komori.....	143
Graf 25 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30 pri atmosferskim uvjetima .....	143
Graf 26 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60 .....	144
Graf 27 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60 u slanoj komori .....	144
Graf 28 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60 u vlažnoj komori .....	145
Graf 29 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60 pri atmosferskim uvjetima.....	145
Graf 30 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60 .....	146
Graf 31 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60 u slanoj komori .....	146
Graf 32 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60 u vlažnoj komori .....	147
Graf 33 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60 pri atmosferskim uvjetima.....	147
Graf 34 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30/60 u slanoj komori .....	148
Graf 35 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30/60 u vlažnoj komori.....	149
Graf 36 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30/60 pri atmosferskim uvjetima .....	149
Graf 37 Usporedba rezultata debljine protupožarnog premaza i debljine pjene u mm.....	151

Graf 38 Rezultati debljine pjene nastale ručnim plamenikom u mm ..... 152  
Graf 39 Rezultati debljine pjene nastale plamenikom za plinsko zavarivanje u mm ..... 152

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
HOS	/	Hlapivi organski spoj
BPA	/	Bisphenol A
BPF	/	Bisphenol F
PVC	/	Polivinilklorid
UV	/	Ultra violet
HALS	/	Aminski svjetlosni stabilizatori
PTFEE	/	Politetrafluoroetilen
ETAG	/	Smjernice za europsko tehničko dopuštenje (European Technical Approvals Guideline)
R	/	Klasifikacija otpornosti konstrukcije na celulozni požar
EN	/	Oznaka europske norme
A1	/	Klasa negorivog materijala
A <sub>p</sub>	m <sup>2</sup>	Opseg profila izloženog požaru
V	m <sup>3</sup>	Faktor profila
ISO	/	Oznaka međunarodne norme
U	m	Unutarnji opseg mjere zaštite od požara
L	m	Jedinica duljine
A <sub>cs</sub>	mm <sup>2</sup>	Površina poprečnog presjeka
HEA	/	Vrsta profil kvadratnog presjeka
E	/	Cjelovitost
I	/	Izolativnost
R	/	Nosivost
HEL	/	Helios
HEM	/	Hempel
HRN	/	Oznaka hrvatske norme
C3-M	/	Otpornost na korozijske uvjete
w	mm	Širina zareza
w <sub>c</sub>	mm	Srednja ukupna širina zone korozije oko zareza
c	mm	Stupanj korozije
WTC	/	Svjetski trgovinski centar (Word trade centar)



## **SAŽETAK**

U radu je obrađena korozija i svi uzroci korozije, kao uvodni dio u premaze i njihovu primjenu. U radu je fokus stavljen na premaze, gdje su pobliže opisane njihove komponente, načine zaštite površine materijala, kao i same uzorke korozije.

Dodatno, u radu se posvetilo procesima nanošenja premaza, kao i njihovom kemijskom sastavu i strukturi o kojoj uvelike ovisi kvaliteta premaza.

Detaljnije su opisani protupožarni premazi, uključujući njihovu kemijsku strukturu i mehanička svojstva. Protupožarni premazi svoju potrebu i značaj dokazuju u širokoj primjeni unutar svih grana gospodarstva.

U eksperimentalnom dijelu rada ispitana su svojstva debljine, prionjivosti, tvrdoće, otpornost u vlažnoj i slanoj komore, protupožarna svojstva i izmjerena je debljina nastale pjene.

Ključne riječi: protupožarna zaštita, zaštitni premazi, korozija, zaštita od korozije

## **SUMMARY**

Corrosion and all causes of corrosion are treated in the paper, as an introduction to coatings and their application. In the paper, the focus is on coatings, where we have described in detail their components, methods of protecting the surface of the material, as well as the corrosion patterns themselves.

In addition, in the work we devoted ourselves to the coating application processes, as well as their chemical composition and structure, on which the quality of the coating largely depends.

Fire protection coatings are described in more detail, including their chemical structure and mechanical properties. Fireproof coatings prove their need and importance in wide application within all branches of the economy.

In the experimental part of the work this paper researched, properties of thickness, adhesion, hardness, influence of humidity and salt spray chamber, fire resistant properties were tested and the thickness of the resulting foam was measured.

**Keywords:** fire resistance, protective coatings, corrosion, corrosion protection

## 1. UVOD

Korozija predstavlja značajan izazov u suvremenom društvu, izazivajući krizu materijala i energije te pridonoseći značajnim gubicima u gospodarstvu svake zemlje. S obzirom na sveprisutnu upotrebu metala u različitim sektorima tehnologije, sve veća pozornost posvećuje se zaštiti metala od korozije. Ovaj problem postaje osobito izražen s rastućom primjenom metalnih konstrukcija, često s tanjim stjenkama koje ne toleriraju korozijske napade jednako kao i teže konstrukcije.

U kontekstu metalnih konstrukcija, čelik se ističe kao najkorišteniji materijal, no izloženost raznolikim korozivnim sredinama stavlja ih pod ozbiljan rizik oštećenja. S suvremenim tehnološkim napretkom, raste potreba za visokom kvalitetom i dugovječnošću metalnih konstrukcija, što uključuje i zahtjeve za vatrootpornost materijala.

U borbi protiv korozije i povećanja vatrootpornosti, primjena premaza izlazi kao ključna strategija za zaštitu čeličnih konstrukcija. U tom kontekstu, protupožarni premazi postaju neizostavno sredstvo, ne samo zaštite od korozije već i kao dodatna dimenzija u osiguravanju visoke kvalitete i sigurnosti čeličnih konstrukcije. Ovaj rad će istražiti primjenu protupožarnih premaza kao učinkovite metode za zaštitu metalnih konstrukcija, pružajući ne samo otpornost na koroziju već i sigurnost od požara, čime se unapređuje ukupna kvaliteta zaštite ovih ključnih građevinskih elemenata.

### 1.1. OPĆENITO O KOROZIJI

Korozija, što dolazi od latinske riječi "corrodere" koja znači nagrizzati, predstavlja prirodni proces transformacije metala u kemijski stabilnije oblike poput oksida, hidroksida, karbonata ili sulfida. Ovaj proces karakterizira postupno propadanje materijala, obično metala, putem kemijskih ili elektrokemijskih reakcija s okolinom. U stvarnom svijetu, elektrokemijska korozija često prevladava, posebno u prisutnosti elektrolita, gdje atom metala, gubitkom elektrona, prelazi u slobodni ion. Ovaj proces, poznat kao redoks, uključuje oksidaciju, odnosno gubitak elektrona od strane metala, stvarajući slobodne metalne katione. Paralelno se odvija proces redukcije, u kojem dolazi do prihvatanja slobodnih elektrona (depolarizacija).

Elektrokemijska korozija javlja se u različitim okruženjima, uključujući prirodnu i tehničku vodu, vodene otopine kiselina, lužina, soli i drugih tvari, tlo, atmosferu itd. Iako atmosfera nije elektrolit, stvaranje kondenzata na metalnoj površini zbog vlažnosti zraka stvara elektrolit i pokreće elektrokemijski korozijski proces [1].

## 1.2. VRSTE KOROZIJE

Korozija se javlja u različitim oblicima i može biti pokrenuta različitim mehanizmima. Vrsta korozije koja će vjerojatno utjecati na određenu metalnu površinu prvenstveno ovisi o okolišu u kojem je izložena, kao i o fizikalnim i kemijskim svojstvima metala. Važno je napomenuti da faktori poput vlažnosti zraka, prisutnosti agresivnih kemijskih supstanci ili temperature mogu dodatno ubrzati ili usporiti proces korozije na metalnim materijalima. Najčešći tipovi korozije [1]:

- Opća korozija
- Galvanska/bimetalna korozija
- Intergranularna korozija
- Selektivna korozija
- Erozijska korozija
- Napetosna korozija
- Rupičasta korozija.

## 1.3. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE

Korozija dovodi do značajnih gubitaka u gospodarstvu. S obzirom na ovo, razvijeni su različiti mehanizmi zaštite od korozije kako bi se minimizirali negativni učinci na materijale i energiju.

Najefikasnije strategije zaštite od korozije obuhvaćaju [1]:

1. Stanje površine i odabir metala

Pažljivo održavanje stanja površine metala i pravilan odabir materijala igraju ključnu ulogu u prevenciji korozije. Održavanje površine i korištenje korozijski otpornih metala doprinosi dugovječnosti materijala.

## 2. Zaštitni premazi

Primjena zaštitnih premaza na metalnim površinama pruža dodatni sloj zaštite od agresivnih čimbenika okoline, poput vlage, kemikalija ili atmosferskih elemenata. Premazi stvaraju barijeru koja sprječava kontakt metala s potencijalno štetnim tvarima.

## 3. Katodna zaštita

Katodna zaštita je elektrokemijski proces koji uključuje postavljanje anoda od elektronegativnijeg metala u kontakt s pozitivnijim metalom kojega želimo zaštititi. Ovaj postupak potiče katodnu reakciju, smanjujući tako vjerojatnost korozije na osnovnom metalu.

## 4. Oblikovanje i konstrukcijske mjere:

Pravilno oblikovanje i konstrukcijske mjere na metalnim strukturama mogu smanjiti akumulaciju vlage i vode, što je ključno za smanjenje rizika od korozije. Također, promjene u dizajnu konstrukcije mogu pridonijeti smanjenju izloženosti metala potencijalno štetnim uvjetima.

## 5. Inhibitori korozije:

Korištenje inhibitora korozije, kemijskih spojeva koji su dodani kako bi smanjili brzinu korozije, također je efikasan način zaštite materijala. Ovi spojevi reagiraju s metalnom površinom, stvarajući zaštitni sloj koji sprečava daljnju koroziju.

Sve ove strategije zajedno čine ključne pristupe u borbi protiv korozije, čime se postiže održivost materijala i energetska učinkovitost u različitim industrijama.

## 1.4. ZAŠTITNI PREMAZI

Zaštita od korozije putem zaštitnih premaza predstavlja jednostavan, ali izuzetno učinkovit način smanjenja korozijskog utjecaja. Ovaj postupak postiže smanjenje izloženosti metala korozivnom okruženju, čime se značajno produžuje životni vijek konstrukcija. Primjena zaštitnih premaza nije ograničena na određenu industriju, već se koristi u različitim sektorima poput građevinske industrije, brodogradnje i održavanja cjevovoda. Oni su ključni čimbenik u osiguravanju dugovječnosti i održivosti različitih konstrukcija.

Postoje tri osnovne kategorije zaštitnih prevlaka, svaka s svojim specifičnim primjenama:

**Metalne prevlake:**

Metalne prevlake često se koriste na opremi koja zahtijeva sjajan izgled, istovremeno pružajući zaštitu od korozije i mehaničkog trošenja. Njihova primjena može se ostvariti putem različitih metoda poput prskanja, elektrokemijskog postupka, kemijske aplikacije ili mehaničkog nanošenja.

**Nemetalne prevlake:**

Ove prevlake često uključuju plastična ili gumena sredstva. Postupak uključuje nanošenje sloja određenog polimera na materijal supstrata. Najčešće se primjenjuju u oblaganju žica i kabela, pružajući im zaštitu od vanjskih elemenata.

**Organski premazi:**

Organski premazi, također kategorizirani kao nemetalne prevlake, djeluju kao barijera između površine podloge i okoline. Osim što poboljšavaju estetski izgled površine, premazi pružaju i zaštitu od korozije. Važno je napomenuti da, iako ne značajno poboljšavaju mehanička svojstva površina podloge, organski premazi mogu se uspješno nanositi kako na metalne, tako i na nemetalne površine.

## 2. VRSTE ORGANSKIH PREMAZA

Postoje mnoge podjele premaza s obzirom na svoja mehanička i kemijska svojstva kao i primjenu, međutim najvažnije podjele premaza su one prema:

Vrsti otapala [1] :

- a) Vodotopivi i vodorazrijedivi
- b) Topivi u organskim otapalima
- c) Netopivi u organskim otapalima

Načinu stvaranja filma:

- a) Fizikalno sušivi
- b) Kemijski sušivi (pri sobnoj i pri povišenoj temperaturi).

Funkciji u premaznom sustavu:

- a) Temeljni premaz
- b) Međupremaz
- c) Završni premaz.

S obzirom na najveću primjenu, netopive i premaze topive u organskim otapalima smatramo tradicionalnim premazima, i dijelimo ih na:

- Praškaste premaze (eng. Powder coatings)
- Premaze koji otvrdnjavaju zračenjem (eng. Radiation curing coatings)
- Premaze s visokom suhom tvari (eng. High solid coatings)
- Vodotopive i vodorazrijedive premaze (eng. Waterborne coatings).

## 2.1. PRAŠKASTI PREMAZI

Praškastu premazi predstavljaju svestrano i izdržljivo rješenje za zaštitu različitih podloga. Ove premaze možemo podijeliti u dvije široke kategorije - termoplastični i termostabilni, a svaka od njih obuhvaća različite vrste premaza prilagođene specifičnim potrebama. Posebno formulirane za premaze u prahu pružaju učinkovitu zaštitu metalnih površina, uključujući aluminij i cink.

Termoplastični premazi u prahu proizvode se od sintetičkih materijala i dijele se na nekoliko ključnih vrsta:

1. Polietileni
2. Polipropileni
3. Polivinilkloridi

Termostabilni premazi u prahu temelje se na kemijskoj reakciji umrežavanja, koja nije reverzibilna nakon pečenja. Ovi termoreaktivni premazi otvrdnjavaju teže od termoplastičnih premaza i pružaju visoku razinu otpornosti na toplinu. Unutar ove kategorije nalazimo različite vrste, uključujući:

1. Epokside
2. Epoksi estere
3. Akril uretane
4. Poliester uretane

Ova raznolika podjela omogućuje odabir optimalnog praškastog premaza ovisno o specifičnim zahtjevima primjene, pružajući visokokvalitetnu zaštitu podlogama uz istodobno zadovoljenje specifičnih potreba materijala i otpornosti.



## 2.2. PREMAZI KOJI OTVRDNJAVAJU ZRAČENJEM

Ovi premazi, formulirani za otvrdnjavanje zračenjem, obuhvaćaju reaktivno tekuće vezivo, pigmente i konvencionalne aditive. Posebno su dizajnirani za otvrdnjavanje putem energije zračenja, čime se postiže brza i učinkovita polimerizacija. Za ove premaze koristimo različite oligomere, među kojima su epoksidni akrilat, uretan akrilat, poliester akrilat, polieter akrilat, akrilni akrilat i silikonski akrilat. Ova inovativna tehnologija pruža visoku kvalitetu premaza s brzim postupkom otvrdnjavanja, što ih čini popularnim u raznim industrijskim primjenama.

## 2.3. PREMAZI S VISOKOM SUHOM TVARI

Premaz s visokim udjelom suhe tvari je premaz, bilo jednokomponentni ili dvokomponentni, čija formulacija podrazumijeva višu koncentraciju čvrstih komponenti (veziva, pigmenta i aditiva) u odnosu na konvencionalne premaze, s minimalno 65% čvrstih tvari. Unatoč smanjenju postotka hlapljivih organskih spojeva (HOS), ovaj premaz i dalje zadržava zadovoljavajuća svojstva primjene ili premazivanja. Premazi s visokim udjelom suhe tvari mogu biti na bazi otapala ili vode [1].

Ovi premazi općenito se smatraju ekološki prihvatljivijima od konvencionalnih premaza jer ispuštaju manje otapala tijekom procesa sušenja ili otvrdnjavanja. Različite vrste veziva prilagođene za upotrebu u „high solid“ premazima uključuju:

- Akrilne smole
- Alkidne smole
- Polivinil klorid
- Poliesterske smole
- Poliuretane
- Epoksi smole.

Ova raznolikost omogućava prilagodbu premaza prema specifičnim zahtjevima primjene, nudeći iznimnu izdržljivost i učinkovitost uz istovremeno smanjenje negativnih utjecaja na okoliš.

## 2.4. VODOTOPIVI I VODORAZRJEDIVI PREMAZI

Premaz na bazi vode predstavlja ekološki prihvatljiv premaz koji koristi vodu kao otapalo za raspršivanje smole koja čini osnovu premaza ili boje; čak 80% otapala uključuje vodu. Cilj upotrebe otapala je olakšati nanošenje premaza ili boje, uz istovremeno naglasak na ekološkoj održivosti. Premazi na bazi vode široko su prihvaćeni zbog niskog sadržaja hlapljivih organskih spojeva (HOS). Mogu se primijeniti na različite podloge, uključujući drvo i plastiku.

Ovaj tip premaza sadrži smolu koja se otapa u vodi, omogućujući potpuno otapanje u vodi i drugim otapalima. Premazi na bazi vode često uključuju organska ko-otapala koja podliježu reakcijama polikondenzacije ili polimerizacije. Iako može trajati duže vrijeme da se potpuno osuši, ovaj premaz pruža izuzetnu površinsku obradu i zaštitu. Korištenje uređaja za grijanje i protok zraka može ubrzati vrijeme otvrdnjavanja. Premaz na bazi vode može se nanositi konvencionalnim tehnikama poput četkanja ili prskanja, a ističe se kao izvrstan izbor za porozne materijale [1].

### 3. OSNOVNE KOMPONENTE PREMAZA

Premaz, općenito definiran kao jedan ili više međusobno povezanih slojeva, stvara suhi film na podlozi, a njegova svrha može biti dekorativna ili funkcionalna. Tradicionalno poznati premazi obuhvaćaju boje i lakove, pri čemu se pigmentirani slojevi nazivaju bojama, dok bezbojne filmove čine lakovi.

Učinkovitost, trajnost i otpornost industrijskih premaza temelje se na vrsti i količini sastojaka koje sadrže. Proizvođači boja i lakova koriste raznovrsne elemente kako bi prilagodili karakteristike svojih proizvoda, čime osiguravaju da zaštitni premazi zadovolje specifične zahtjeve različitih okoliša.

Premaz se sastoji od dvije ključne komponente: pigmenata i veziva. Pigmentacija uključuje bojila, inhibitore korozije i punila, a ponekad i druge netopive sirovine. Vezivo ima ulogu nositelja pigmenata te ga povezuje u homogeni sloj na podlozi. Tipičan premaz obuhvaća smolu ili vezivo, otapala te dodatke koji doprinose formulaciji [2].

#### 3.1. VEZIVO

Vezivo predstavlja ključnu komponentu premaza koja omogućuje formiranje prijanjajućeg filma nakon sušenja. Mehanička i kemijska svojstva premaza uvelike ovise o karakteristikama vezivnih tvari, određujući time zaštitnu sposobnost premaza. Veziva su polimeri koji stvaraju kontinuirani film na površini podloge. Tehnički, to su polimeri male ili srednje molekularne mase koji, pod utjecajem faktora poput kisika u zraku ili topline, povećavaju razinu polimerizacije, postajući više ili manje plastične i netopive krute tvari.

Veziva igraju ključnu ulogu u održavanju ravnoteže premaza, zadržavajući čestice pigmenata ravnomjerno raspoređenima po cijeloj površini. Mogu se nazivati i smolama, a kada se kombiniraju s otapalom, često ih nazivamo nosačima ili katalizatorima. Veziva su neophodna komponenta u smjesi, obzirom da omogućuju povezivanje svih ostalih sastojaka. [3]

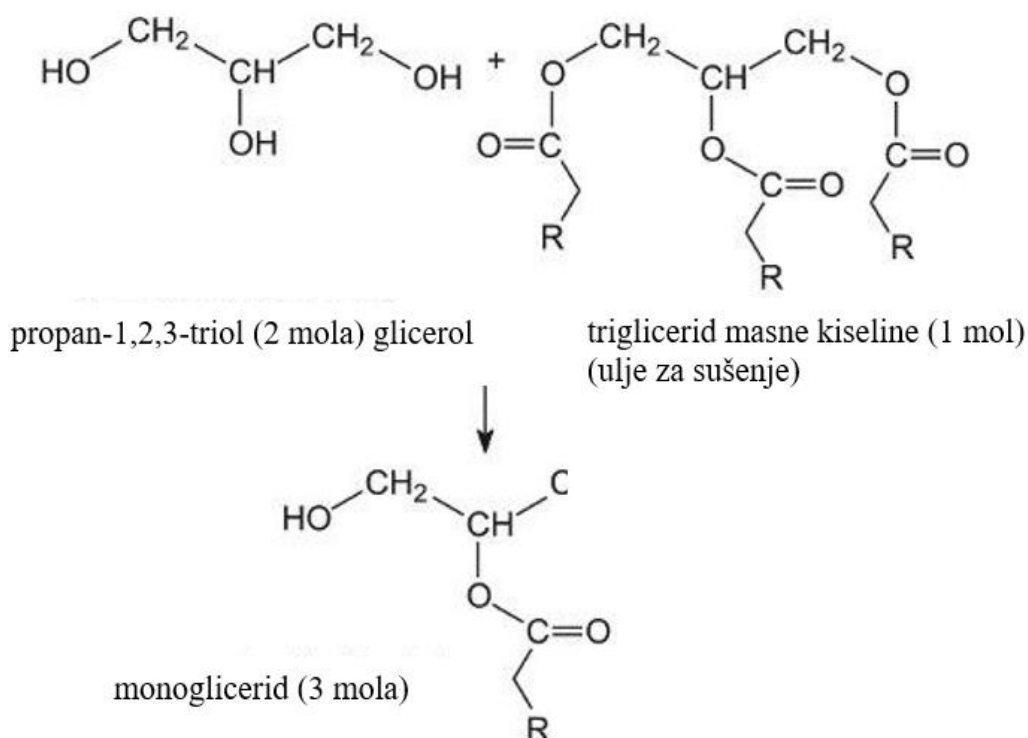
Ovisno o svrsi, vezivo može činiti značajan postotak ukupnog sastava boje ili premaza, dok aditivi često čine manji dio smjese. [3]

## 3.1.1. Alkidi

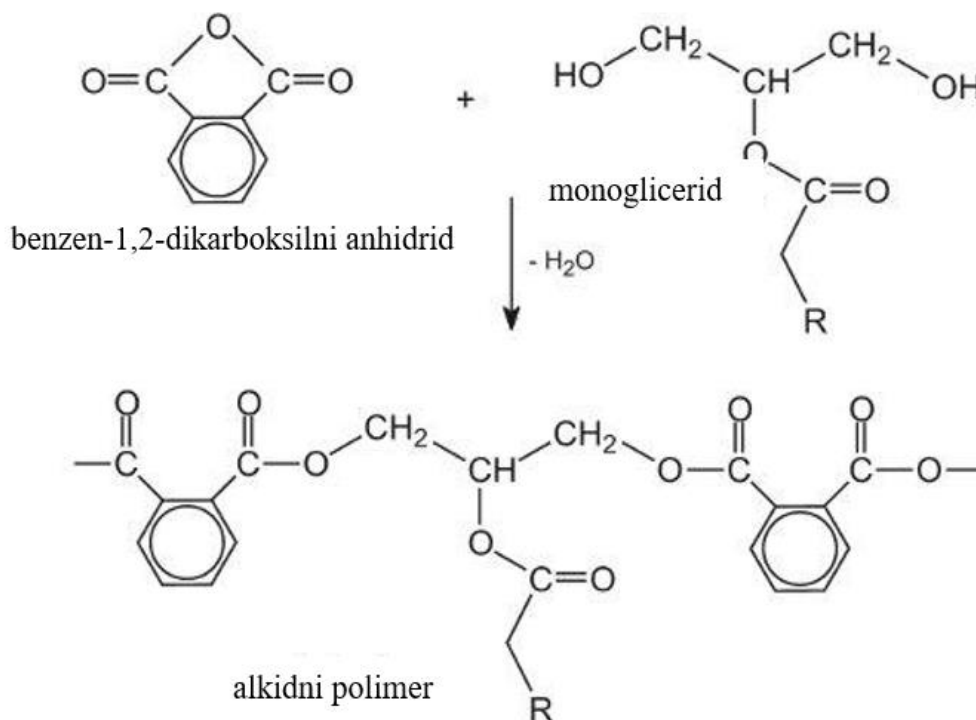
Dekoratívne sjajne boje često koriste alkidne polimere, specifično smole koje proizlaze iz kompleksnih kemijskih procesa. Jedna od uobičajenih smola proizvedenih za ovu svrhu potječe od poliola, poput propan-1,2,3-triola (glicerola), koji reagira s dvobaznim kiselinama, primjerice benzen-1,2-dikarboksilnim (ftalnim) anhidridom, te s uljem za sušenje, poput lanenog ili sojinog ulja [4].

Prilikom zagrijavanja ovih komponenata, stvaraju se esterske veze, a nusproizvod reakcije je voda. Naziv "alkid" dolazi od riječi "alkohol" i "anhidrid". Proces stvaranja alkidnog polimera počinje reakcijom između triola i ulja za sušenje, rezultirajući monogliceridom. Slika 1 ilustrira reakciju stvaranja monoglicerida, dok slika 2 prikazuje reakciju monoglicerida s anhidridom.

Ova složena kemijska sinteza ključna je za formiranje alkidnog polimera, koji zatim čini bitnu komponentu sjajnih dekorativnih boja. Ovaj proces omogućuje stvaranje robusnih i dugotrajnih premaza sa željenim sjajem i estetskim svojstvima. [4]



Slika 1 Reakcija između triola i ulja za sušenje. [5]



Slika 2 Nastajanje alkidnog polimera iz reakcija monoglicerida s anhidridom. [5]

Alkidne smole obično imaju relativnu molekularnu masu koja se kreće u rasponu od 10 000 do 50 000. U prošlosti se terpentini, ekstrahirani iz drveća, koristili kao otapalo u formulaciji alkidnih smola, no danas su ga zamijenili otapala dobivena iz petrokemijskih sirovina, poput 'white spirita', koji predstavlja mješavinu alifatskih i alicikličkih ugljikovodika.

Nakon što se nanese alkidna smola, grupe za sušenje u njoj reagiraju s kisikom iz zraka, stvarajući umreženi, tvrdi termoreaktivni premaz visoke molekularne mase. Ovaj postupak omogućuje formiranje izdržljivog premaza s iznimnim svojstvima čvrstoće i dugotrajnosti. [4]

### 3.1.1.1. Svojstva alkidnih premaza

Boje temeljene na alkidima mogu se klasificirati prema volumnom udjelu ulja koje sadrže [4]:

#### **Kratko uljni - Niske koncentracije uljanih boja (30-40%):**

- Karakteriziraju nisko vrijeme sušenja.
- Često se koriste u proizvodnji boja namijenjenih metalnim površinama, poput onih u automobilskoj industriji, ili za proizvodnju plastifikatora koji štite vanjske površine.

#### **Srednje uljni - Srednji udio ulja (45-55%):**

- Predstavljaju najsvestraniju kategoriju.
- Široko se koriste u proizvodnji emajla, bilo da se nanose kistom ili raspršivanjem zrakom.

#### **Dugo uljni - Visoki (55-70%) i vrlo visoki udio ulja (više od 70% ukupnog volumena):**

- Odlikuju se duljim vremenom sušenja u usporedbi s prethodnim kategorijama.
- Pružaju poboljšanu otpornost na starenje i vremenske utjecaje.
- Često se primjenjuju u građevinskoj industriji, posebice u proizvodnji vanjskih boja i emajla.
- Koriste se i u proizvodnji proizvoda za obradu površina koje su izložene izrazito zahtjevnim uvjetima, kao što su brodovi ili čamci od različitih materijala.

### 3.1.1.2. Tipovi sušivih ulja i alkida

Ulja za sušenje, posebno ona rafinirana, inherentno su sposobna formirati filmove u svom izvornom obliku, ali taj proces odvija se relativno sporo. Stoga se često provode modifikacije kako bi se povećala njihova molekularna težina i viskoznost prije upotrebe u premazima, unapređujući tako vrijeme sušenja i ukupna svojstva stvaranja filma. Povećana početna molekularna težina znači da je manje umrežavanja potrebno za formiranje koherentnog filma, čime se smanjuje vrijeme sušenja.

Modifikacije ulja mogu se provesti termičkim tretmanima, koji polimeriziraju molekule ulja, ili kemijskom reakcijom polimerizacije molekula ulja s drugim spojevima. [4]

Najčešće korištena ulja prirodnog porijekla u ovom kontekstu uključuju [4]:

- Riblje ulje
- Laneno ulje
- Tungovo ulje
- Tall ulje (bor)
- Sojino ulje
- Ricinusovo ulje.

Važno je napomenuti da alkidi nisu ograničeni samo na prirodna ulja, već se mogu modificirati s obzirom na osnovu. Neki primjeri modificiranih alkida uključuju [4]:

- Fenolni alkidi
- Epoksi alkidi
- Silikonski alkidi
- Uretanski alkidi.

#### 3.1.1.3. Prednosti alkida

Prednosti alkidnih premaza obuhvaćaju [4]:

- Širok opseg primjene na različitim površinama poput drva, metala, betona, opeke, suhozida i drugih materijala.
- Izuzetna elastičnost i izdržljivost, pružajući dugotrajnu zaštitu premazanim površinama.
- Visoka otpornost na širok spektar temperaturnih uvjeta, održavajući stabilnost i na niskim temperaturama ispod nule ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) te u ekstremno visokim temperaturama ( $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- Brzo sušenje, što omogućava efikasnu i učinkovitu primjenu premaza.
- Visoko prijanjanje na gotovo sve vrste površina, osiguravajući čvrsto povezivanje i dugotrajnu zaštitu.

- Jednostavna primjena koja olakšava postupak nanošenja premaza.
- Obavljanje antikorozivnih i antiseptičkih funkcija, pružajući dodatni sloj zaštite od korozije i mikroorganizama.
- Pristupačan cjenovni segment, čineći ih ekonomičnim i pristupačnim rješenjem u odnosu na druge vrste premaza.

#### 3.1.1.4. Nedostaci alkida

Nedostaci alkidnih premaza obuhvaćaju [4]:

- Povećana toksičnost: Alkidne boje mogu sadržavati tvari koje su štetne za zdravlje, čineći ih potencijalno opasnim za radnike i okoliš. Stoga je važno koristiti odgovarajuću zaštitnu opremu i raditi u dobro prozračenim prostorima kako bi se smanjila izloženost toksičnim tvarima.
- Niska paropropusnost: Alkidni premazi imaju ograničenu sposobnost propuštanja pare, što može rezultirati zadržavanjem vlage ispod premaza. To može dovesti do problema poput pojave plijesni i oštećenja premazane površine. U situacijama gdje je paropropusnost bitna, treba razmotriti alternative s boljim paropropusnim svojstvima.
- Opasnost od požara: Otapala koja se koriste u sastavu alkidnih premaza često su lako zapaljiva, izlažući radnike i okolinu riziku od požara. Potrebne su posebne mjere opreza prilikom rukovanja, skladištenja i primjene alkidnih premaza kako bi se smanjila opasnost od požara.
- Niska otpornost na lužine: Alkidni premazi obično imaju ograničenu otpornost na lužine, što znači da mogu biti podložni oštećenju ili promjenama u prisutnosti alkalnih tvari. Ovaj nedostatak čini alkidne premaze manje prikladnima za područja gdje je izloženost lužinama učestala, kao što je u industrijskim postrojenjima ili okolišima s visokom razinom alkalnosti.



### 3.1.1.5. Primjena

Alkidno modificirane silikonske smole nalaze široku primjenu u različitim područjima, a posebno se ističu u bojama za promet na autocestama, premazima za betonske podove te bojama za bazene. Osim toga, ove smole koriste se u proizvodnji boja otpornih na visoke temperature, premaza i izolacijskih lakova, što dodatno proširuje njihovu uporabu.

Jedna od ključnih prednosti alkidnih boja, uključujući i one s modificiranjem silikonom, jest njihova relativna jednostavnost upotrebe. Proizvode se i dostavljaju na tržište kao gotovi proizvodi, često ne zahtijevajući nikakvo miješanje prije upotrebe, osim standardnog miješanja kako bi se osigurala homogena distribucija pigmenta i aditiva. Ovaj aspekt čini ih praktičnima za široku primjenu, olakšavajući korisnicima proces primjene boje.

Alkidne boje, uključujući one modificirane silikonskim smolama, mogu se nanositi različitim metodama. Najčešća metoda primjene uključuje korištenje aplikatora poput kista ili valjka, što je posebno korisno za rad na većim površinama kao što su autoceste ili betonski podovi. Također, alkidne boje mogu se primijeniti, uz korištenje pištolja za raspršivanje putem komprimiranog zraka. Ova metoda omogućuje preciznost i ravnomjerno nanošenje boje. Time se pruža široka fleksibilnost u odabiru metode primjene ovisno o specifičnim zahtjevima projekta. [4]

### 3.1.2. Epoksidi

Epoksidni premaz predstavlja sofisticirani spoj koji kombinira epoksidnu smolu i poliaminski otvrdnjivač (poznat i kao katalizator). Ovaj premaz se sastoji od dvaju različitih dijelova koji, kada se pažljivo izmiješaju, stupaju u kemijsku reakciju koja rezultira poprečnim povezivanjem elemenata tijekom procesa otvrdnjavanja. Epoksidni premaz ističe se visokom razinom čvrstoće na savijanje, čineći ga izvrsnim izborom za različite domaće i komercijalne primjene.

Sastavljen od dvaju dijelova, ovaj premaz obično zahtijeva precizno miješanje u određenim omjerima, koji se kreću između 2:1 i 4:1, ovisno o proizvođaču i namjeni.

Kada epoksidni premaz potpuno otvrdne, rezultat je izdržljiv, čvrst sloj s nizom poželjnih mehaničkih svojstava.

Epoksidni premazi su vrlo prilagodljivi i koriste se u različitim sektorima. Njihova svestranost omogućuje širok raspon primjena, uključujući podove, površine radnih stolova, te druge površine gdje je potrebna izdržljiva i dugotrajna zaštita. Osim toga, ovi premazi često nude izuzetnu otpornost na kemikalije, abraziju i udarce.

Korištenjem epoksidnog premaza postiže se ne samo zaštita površine od oštećenja i habanja, već i estetsko poboljšanje. Epoksidni premazi često dolaze u različitim bojama i završnim obradama, pružajući mogućnost personalizacije. [6]

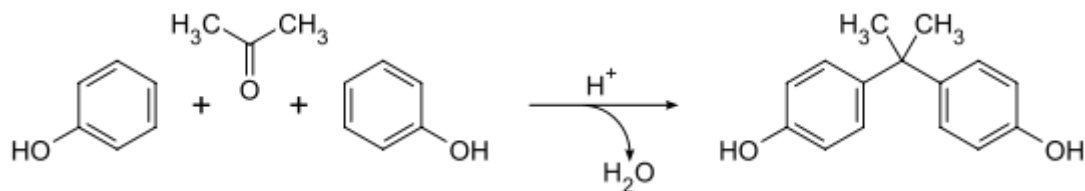
#### 3.1.2.1. Bisphenol A

Bisfenol A, poznat i kao BPA, predstavlja organsko spojno sredstvo koje ima ključnu ulogu u industriji plastike i premaza. Proizvodnja ovog kemijskog spoja, kako prikazuje Slika 3, značajan je korak u stvaranju polikarbonata i epoksidnih smola, čime postaje osnovni graditeljski blok za široku paletu proizvoda.

Osim što je temeljni sastojak u proizvodnji polikarbonatnih materijala, BPA se često koristi kao dominantna smola u epoksidnim premazima. Epoksidni premazi, često se primjenjuju kao zaštita za različite površine, odlikuju se izuzetnim svojstvima, uključujući otpornost na abraziju, visoku fleksibilnost i iznimnu udarnu čvrstoću.

Proces proizvodnje BPA ključan je za osiguravanje stabilnosti i performansi polikarbonata, koji se široko koristi u proizvodnji robusnih i transparentnih materijala, poput bočnih prozora u vozilima, optičkih leća, i drugih proizvoda gdje je važna kombinacija čvrstoće i prozirnosti.

Uz to, epoksidni premazi na bazi BPA pronalaze primjenu u različitim industrijama, uključujući građevinski sektor, proizvodnju elektronike, te brojne druge sektore gdje je potrebna izdržljiva i zaštitna prevlaka.



Slika 3 Sinteza BPA iz fenola i acetona. [6]

### 3.1.2.2. Bisphenol F

Bisfenol F, često skraćeno kao BPF, predstavlja ključni organski spoj unutar skupine molekula poznatih kao bisfenoli. Ova klasa spojeva karakterizira prisutnost dviju fenolnih skupina međusobno povezanih veznom skupinom. U slučaju BPF-a, dvije aromatične jezgre su spojene metilenskom veznom skupinom, što ga čini izrazito reaktivnim u usporedbi s Bisfenolom A.

Bisfenol F se ističe kao važan sastojak u proizvodnji plastike i epoksidnih smola. Njegova visoka reaktivnost otvara vrata brojnim primjenama, a koristi se u različitim industrijama. Primjerice, BPF se često koristi u proizvodnji obloga spremnika i cijevi, industrijskih podova, obloga za ceste i mostove, strukturalnih ljepila, fugiranja, premaza te električnih lakova.

Dodatno, Bisfenol F ima značajnu primjenu u području dentalne industrije. Prisutan je u raznim dentalnim materijalima, uključujući restaurativne materijale, obloge, ljepila, te oralne protetske uređaje i nadomjeske tkiva. Njegova sposobnost stvaranja čvrstih i izdržljivih materijala čini ga ključnim sastojkom u raznim tehnološkim i medicinskim aplikacijama.

### 3.1.2.3. Primjena

Epoksidni premazi, zbog svoje svestranosti i izuzetnih svojstava, nalaze brojne primjene u različitim industrijama, pružajući trajnu i učinkovitu zaštitu u raznim okolnostima. Nekoliko značajnih primjera njihove upotrebe jesu [6]:

## **Automobilska i pomorska industrija**

Epoksidni premazi široko se primjenjuju kao temeljni premazi u automobilskoj i pomorskoj industriji. Ovi premazi djeluju kao učinkovita barijera protiv korozije, pružajući pouzdanu zaštitu za vozila i brodove. Također, poboljšavaju prijanjanje.

## **Epoksidni premazi za zaštitu čeličnih cijevi**

Epoksidni premazi koriste se u industriji nafte i plina za zaštitu čeličnih cijevi i fittinga od korozije. Ovi premazi također nalaze primjenu u cjevovodima za prijenos vode te za zaštitu armaturnih šipki za beton, pružajući dugotrajnu zaštitu i održavajući integritet materijala.

## **Premazi za metalne limenke i spremnike**

U prehrambenoj industriji, metalne limenke i spremnici često se tretiraju epoksidnim premazima kako bi se spriječilo hrđanje, posebno kada se koriste za pakiranje kisele hrane, kao što su konzervirane rajčice. Ovi premazi osiguravaju sigurnost, produžuju rok trajanja proizvoda i održavaju higijenske standarde.

## **Primjena na podovima**

Epoksidni premazi često se koriste kao podne boje u industrijskim i komercijalnim prostorima. Njihova visoka otpornost na habanje, kemikalije i udarce čini ih idealnim za područja s intenzivnim prometom. Osim što štite podnu površinu, epoksidni premazi mogu dodatno poboljšati estetski izgled prostora.

### *3.1.3. Akrilne smole*

Akrilne smole predstavljaju široku grupu polimernih materijala s raznolikim primjenama, oblikovanim kroz različite tipove monomera, kemijske skupine i procese proizvodnje. Ovi materijali obuhvaćaju estere akrilne i metakrilne kiseline, kao i njihove derivate, a moguće ih je dodatno modificirati uvođenjem različitih kemijskih skupina (označenih kao R skupine) radi postizanja željenih svojstava [7].

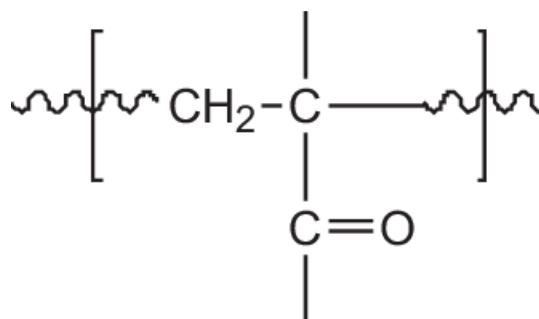
Akrilne smole mogu se pronaći u obliku otopina, disperzija ili krutina, pružajući fleksibilnost i prilagodljivost njihove upotrebe u raznim aplikacijama. Važno je napomenuti da se, pored akrilnih monomera, u polimerne lance često ugrađuju i drugi monomeri kako bi se postigle specifične karakteristike smola, poput poboljšane adhezije, otpornosti ili ekonomske isplativosti.

Akrilne smole nalaze široku primjenu u raznim sektorima, uključujući industrijske i arhitektonske premaze. Industrijski premazi na bazi otapala i vode često koriste akrilne smole zbog njihove izvrsne otpornosti na vremenske uvjete, adhezije na različite površine te brze sušnosti. Arhitektonski premazi koriste se za zaštitu i estetsko poboljšanje građevinskih materijala.

Kada pristupamo odabiru akrilnih smola za formulaciju, ključni faktori uključuju specifičnosti krajnje primjene, tip premaza koji se proizvodi te željena svojstva premaza. Različite kategorije akrilnih smola prilagođene su različitim zahtjevima, pa je nužno razumjeti njihove karakteristike kako bi se odabrao optimalan proizvod.

Sveobuhvatna analiza akrilnih smola uključuje proučavanje općih formula akrilnih polimera (Slika 4.), čime se dodatno olakšava razumijevanje njihove strukture i svojstava. Nastavak proučavanja ovih materijala omogućuje dublje poznavanje njihove raznolike primjene i pridonosi boljem odabiru prilikom razvoja formulacija za različite industrije.

[7]



Slika 4 Opća formula akrilnog polimera. [8]

Ovisno o njihovom sastavu, akrilne smole možemo podijeliti u 2 različite kategorije:

- čiste akrilne smole i one složenije, koje sadrže i dodatne monomere.

### 3.1.3.1. Čiste akrilne smole

Akrilne smole koje sadrže isključivo akrilne monomere nude široku paletu mogućnosti za funkcionalizaciju, čime se postižu različite karakteristike i reaktivnosti. Među najčešćim funkcionalizacijama, ističu se:

**Karboksilne skupine:** Dodavanje jednostavnih atoma vodika na monomere rezultira prisutnošću karboksilnih skupina u polimeru. Ova karakteristika čini smolu osjetljivom na različite kemijske reakcije, često koristeći karboksilne skupine kao aktivne centre za daljnje procese. Takva svojstva često se koriste u formulacijama boja i premaza.

**Nereaktivne skupine (alkilni lanci):** Dodatak alkilnih lanaca koji sadrže samo ugljik i vodik pridonosi stvaranju polimera s poboljšanom kemijskom otpornošću. Nereaktivne skupine sprječavaju reakcije s drugim spojevima, čime se povećava stabilnost smole u različitim okolinama. Ovaj tip funkcionalizacije često se koristi u situacijama gdje je potrebna izdržljivost i otpornost na vanjske čimbenike.

**Reaktivne skupine (hidroksilne i glicidilne funkcije):** Uključivanje hidroksilnih funkcija omogućava reakcije s izocijanatima ili melaminima, što rezultira jačim polimernim materijalom. S druge strane, glicidilne funkcije, poznate i kao epoksi skupine, reagiraju s aminima i karboksilnim kiselinama, što dodatno doprinosi čvrstoći i specifičnim svojstvima smole. [7]

Ova raznolikost funkcionalizacija omogućuje prilagođavanje akrilnih smola prema specifičnim potrebama različitih industrija. Razumijevanje tih karakteristika ključno je prilikom formuliranja premaza, boja ili drugih proizvoda gdje akrilne smole igraju ključnu ulogu. Proces odabira funkcionalizacija također ovisi o krajnjoj primjeni proizvoda i željenim svojstvima materijala. [7]

### 3.1.3.2. Složene akrilne smole

Za postizanje željenih svojstava ili smanjenje troškova, raznovrsni monomeri mogu se ugraditi u akrilne polimere, prilagođavajući ih specifičnim zahtjevima. Stiren, kao jedan od najčešće korištenih monomera, često se koristi u ovom procesu, rezultirajući smolama poznatima kao stiren-akril.

Stirenski monomeri imaju značajno nižu cijenu u usporedbi s akrilnim monomerima. Osim toga, stiren doprinosi poboljšanju otpornosti na vodu, lužine i povećava tvrdoću smole. Iako stiren-akrilne smole nude niz prednosti, poput poboljšane otpornosti na vodu i lužine te povećane tvrdoće, često se suočavaju s izazovima poput žućenja i kredanja. Ovi problemi mogu ograničiti njihovu primjenu u određenim područjima. Žućenje može smanjiti estetsku privlačnost proizvoda, dok kredanje može utjecati na dugovječnost i izdržljivost premaza ili materijala. Važno je naglasiti da, unatoč ovim izazovima, stiren-akrilne smole i dalje imaju svoje mjesto u različitim industrijama, posebice tamo gdje niski troškovi i specifična svojstva koje pružaju premašuju navedene nedostatke. [7]

#### 3.1.3.3. Primjena

Akrilne smole ističu se iznimnom transparentnošću i izdržljivošću, što ih čini ključnim sastojkom u raznolikim aplikacijama, od svakodnevnih potrošačkih predmeta poput leća do industrijskih proizvoda, uključujući materijale za oblikovanje, premaze i ljepila. Njihova svestranost seže i u područja poput veziva za obradu papira i vlakana, proizvodnje PC ekrana, proizvodnje prozora za mobilne telefone te stvaranja svjetlovodnih ploča za pozadinsko osvjetljenje zaslona s tekućim kristalima (LCD) [8].

Dodatno, zbog izuzetne trajnosti i otpornosti na vremenske uvjete, akrilne smole često se intenzivno koriste u području zaštitnih premaza. Posebno se ističu u automobilskoj i arhitektonskoj industriji, gdje se koriste za formulaciju premaza koji pružaju dugotrajan zaštitni sloj vozilima i građevinama. Njihove karakteristike transparentnosti i izdržljivosti čine ih idealnim izborom za zahtjevne aplikacije gdje je ključno očuvanje vizualne jasnoće i dugovječnost premaza. [7]

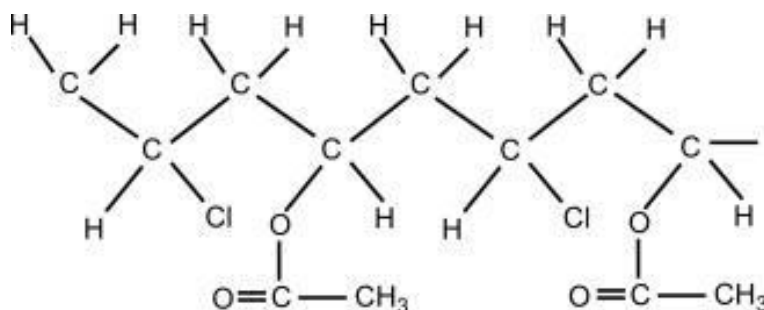
#### 3.1.4. Vinilna smola

Vinilna smola, kao kopolimer vinil klorida i vinil acetata, predstavlja ključan sastojak u raznovrsnim industrijskim premazima. Njena široka primjena obuhvaća različite sektore, uključujući automobilsku industriju, proizvodnju zavojnica, brodogradnju, ambalažnu industriju (meki i tvrdi materijali), plastičnu industriju, praškaste premaze, te premaze za drvo i druge podloge. [9]

Vinilna smola se posebno ističe zbog svojih iznimnih karakteristika koje uključuju visoku disperzibilnost, odlično formiranje filma, sposobnost otpuštanja otapala, fleksibilnost, izuzetnu otpornost na habanje, kemijsku postojanost, otpornost na vatru, dobru topljivost, i širok opseg primjene. Njezine svestrane osobine čine je poželjnom vezivnom smolom za različite industrijske premaze.

U automobilskoj industriji, vinilna smola se često koristi kao sastavni dio lakova za vozila, pružajući izdržljivu i zaštitnu prevlaku na vozilima. Također je popularna u proizvodnji zavojnica, brodskih boja, ambalažnih materijala, plastike, premaza u prahu, te premaza za drvo, gdje pridonosi kvaliteti i dugovječnosti završnih slojeva.

Slika 5 ilustrira strukturu kopolimera vinil klorida i vinil acetata koji čini osnovu ove korisne smole. [17]



Slika 5 Kopolimer vinil klorida i vinil acetata. [9]

#### 3.1.4.1. Vinil smole bez funkcionalnih skupina

Vinilna smola bez funkcionalnih skupina oduvijek je bila ključna u industriji zbog svoje izvrsne prionjivosti za PVC (polivinilklorid) i materijale na bazi PVC-a. Njena sposobnost povezivanja s ovim materijalima čini je nezamjenjivim sastojkom u proizvodnji različitih proizvoda.

Kada je riječ o sadržaju vinil acetata u vinilnoj smoli, postiže se optimalna kombinacija svojstava u rasponu od 30-40%. U takvim omjerima, vinilna smola postaje potpuno topiva u esterima, pružajući iznimnu fleksibilnost uz najnižu temperaturu staklastog prijelaza među vinilnim smolama. Ova karakteristika omogućava proizvodnju visoko elastičnih premaza s izuzetnim svojstvima prijanjanja.



Takvi premazi idealni su za situacije gdje je potrebna izdržljivost, fleksibilnost i dobro prijanjanje, primjerice u industriji ambalaže, izradi fleksibilnih podova ili drugim područjima gdje se zahtijeva visoka elastičnost. [9]

#### 3.1.4.2. Kopolimeri s funkcionalnim skupinama

Kopolimeri vinil klorida i vinil acetata smole s dodatkom funkcionalnih skupina obično su karakterizirani prisutnošću hidroksilne ili karboksilne funkcionalne skupine. Vinilna smola s karboksilnom funkcionalnom skupinom nastaje polimerizacijom s vinil kloridom, vinil acetatom, i terpolimerom dikarboksilne kiseline. Ova vrsta vinilne smole s karboksilnom grupom izdvaja se zbog svoje izuzetne adhezije na metal, pružajući snažno prijanjanje filma boje na različite površine poput lima, aluminijske folije, aluminijske laminirane folije, PVC-a, ABS-a, papira, betona, akrilne kiseline PE, OPP, itd. [9]

Premaz koji proizlazi iz ove vinilne smole s karboksilnom grupom ne samo da pokazuje odličnu adheziju za podlogu, već također iskazuje otpornost na kiseline, lužine, otopine soli, te ima nisku sposobnost upijanja vode. Zbog tih svojstava, ova vrsta smole ima široku primjenu, uključujući upotrebu kao ljepilo za folije s vrućim utiskivanjem, lak za toplinsko brtvljenje u farmaceutskim pakiranjima, premaz za limenke, premaz za kućanske aparate, UV temeljni premaz za tipkovnice mobilnih telefona, antikorozivni premaz i brodski premaz. [9]

#### 3.1.4.3. Primjena

Vinilne smole, zbog svojih izvanrednih karakteristika, široko se primjenjuju u raznim industrijama i proizvodnim područjima [9]:

**Premazi za metalne površine:** Vinilne smole koriste se kao vezivni materijal u premazima koji pružaju iznimnu otpornost na koroziju, čime se štite metalne površine od vanjskih utjecaja.

**Elektroničke i električne komponente:** Vinilna smola ima visoku dielektričnu čvrstoću i otpornost na električnu provodljivost, čineći je idealnim materijalom za elektroničke i električne komponente.

**Električni izolatori:** Zbog svoje izolacijske sposobnosti, vinilna smola često se koristi za proizvodnju električnih izolatora koji sprječavaju prolazak električne struje.

**Plastični materijali ojačani vlaknima:** Vinilne smole koriste se u proizvodnji ojačanih plastičnih materijala kako bi se postigla izuzetna čvrstoća i stabilnost uz dodatak vlakana.

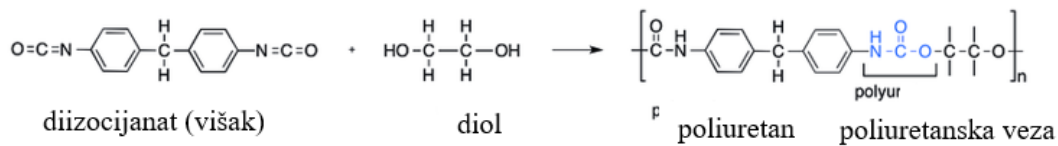
**Strukturna ljepljiva:** Vinilne smole služe kao sastavni dio strukturnih ljepljiva koja pružaju snažno prijanjanje i čvrstoću.

Osim toga, vinilna smola ima primjene u smjesama za brtvljenje i lijevanje, brtvilima, bojama i drugim industrijskim aplikacijama kako bi se spriječila korozija i osigurala dugotrajnost materijala.

### 3.1.5. Poliuretani

Poliuretan (često skraćeno PUR) odnosi se na vrstu polimera sastavljenih od organskih jedinica spojenih uretanskim vezama. Za razliku od drugih uobičajenih polimera kao što su polietilen i polistiren, poliuretan se proizvodi iz širokog spektra početnih materijala (monomera). Ova kemijska raznolikost omogućuje poliuretane s vrlo različitim fizikalnim svojstvima, što dovodi do jednako širokog raspona različitih primjena. To uključuje: krute i fleksibilne pjene, lakove i premaze, ljepljiva, električne smjese za zalijevanje i vlakna kao što je *spandex*.

Poliuretanski polimeri tradicionalno i najčešće nastaju reakcijom di- ili triizocijanata s poliolum. *Slika 6* prikazuje sintezu poliuretana iz izocijanata i diola. Budući da poliuretani sadrže dvije vrste monomera, koji polimeriziraju jedan za drugim, klasificiraju se kao izmjenični kopolimeri., izocijanati i polioli koji se koriste za proizvodnju poliuretana sadrže u prosjeku dvije ili više funkcionalnih skupina po molekuli. [10]



Slika 6 Sinteza poliuretana iz izocijanata i diola. [11]

### 3.1.5.1. Prednosti poliuretana

Prednosti poliuretanskog premaza su mnogobrojne, čineći ga popularnim izborom u različitim industrijama [10]:

- Dobra fizikalna i mehanička svojstva: Poliuretanski premazi stvaraju tvrd, svijetao i fleksibilan film s visokom čvrstoćom. Njihovo snažno prijanjanje na površinu čini ih izvrsnim zaštitnim slojem koji je otporan na habanje.
- Izvrsna otpornost na koroziju: Ovi premazi su otporni na različite kemijske agense, uključujući ulje, kiseline, kemikalije i industrijske otpadne plinove. Ova svojstva čine ih izvrsnim izborom za površine izložene agresivnim uvjetima.
- Bolja otpornost na starenje: Poliuretanski premazi pružaju dugotrajan zaštitni sloj, a njihova otpornost na starenje često je bolja u usporedbi s epoksidnim premazima. Ovo ih čini idealnim za upotrebu kao završni premaz.
- Mogućnost miješanja s raznim smolama: Fleksibilnost poliuretanskih smola omogućuje njihovo miješanje s drugim smolama, prilagođavajući formulaciju kako bi zadovoljila specifične zahtjeve različitih primjena.
- Različiti načini otvrdnjavanja: Poliuretanski premazi mogu otvrdnuti pri različitim temperaturama, uključujući sobnu temperaturu, toplinsko otvrdnjavanje ili čak pri niskim temperaturama do 0 °C, pružajući prilagodljivost u procesu primjene.
- Dug vijek trajanja za cijevne proizvode: Proizvodi od cijevi obloženi poliuretanom često imaju produljen vijek trajanja zbog izdržljivosti i zaštite koju pruža poliuretanski premaz.

### 3.1.5.2. Nedostatci poliuretana

Nedostaci poliuretanskog premaza često se odnose na specifične karakteristike koje mogu utjecati na primjenu i obradu materijala [10]:

- Nestabilnost poliizocijanata: Poliuretanski premazi koriste poliizocijanate, koji mogu imati lošu stabilnost pri skladištenju. Ova nestabilnost može dovesti do nepoželjnog geliranja ako nisu poduzete odgovarajuće mjere kako bi se izolirala vlaga. Stoga je važno održavati uvjete skladištenja koji sprječavaju izloženost materijala vlazi.
- Manja otpornost na lužine: U usporedbi s epoksidnim premazima, poliuretanski premazi mogu pokazivati nešto manju otpornost na lužine. Ovo svojstvo važno je uzeti u obzir prilikom odabira premaza, posebno ako je planirana izloženost lužinama u specifičnoj primjeni.
- Relativno visoka cijena: Jedan od nedostataka poliuretanskog premaza je njegova relativno visoka cijena u usporedbi s nekim drugim premazima. Ovo može utjecati na pristupačnost materijala, posebno u situacijama gdje postoji pritisak na smanjenje troškova proizvodnje ili obrade.

Važno je napomenuti da, iako se ovi nedostaci javljaju, poliuretanski premazi i dalje pružaju visokokvalitetnu zaštitu i druge prednosti koje često nadmašuju ove izazove. Usprkos navedenim manama, inovacije u formulacijama i tehnologiji mogu pridonijeti rješavanju ovih problema kako bi se optimizirale performanse poliuretanskih premaza.

### 3.1.5.3. Primjena

Poliuretanska pjena, često poznata po svojoj svestranosti, nalazi najčešću primjenu u čvrstom obliku pjene. Ovaj materijal se stvara kroz proces polimerizacije u kojem je prisutno sredstvo za puhanje ili plin. U većini slučajeva, ovo postiže dodavanjem vode tijekom procesa, koja zatim reagira s izocijanatima, stvarajući plin ugljični dioksid i amin. Ova reakcija uključuje nestabilne skupine karbaminske kiseline [10].

Kao rezultat ove reakcije, proizvedeni amin može dalje reagirati s izocijanatima kako bi formirao urea grupe. Polimer dobiven na taj način sadrži i uretanske i urea veziva.

Zanimljivo je napomenuti da urea nije jako topljiva u reakcijskoj smjesi, te ima tendenciju formiranja zasebnih faza poznatih kao "tvrđi segment". Ove faze uglavnom se sastoje od poliurea i igraju ključnu ulogu u određivanju svojstava konačne pjene.

Važno je naglasiti da koncentracija i organizacija poliurea faza unutar pjene značajno utječu na njezina krajnja svojstva. Različite formulacije mogu rezultirati pjenom s različitim gustoćama, čvrstoćom, elastičnošću i drugim svojstvima koja čine poliuretan pjenu široko primjenjivom u raznim industrijama, uključujući proizvodnju izolacijskih materijala, podova, jastuka, te raznih drugih proizvoda [10].

### 3.1.6. *Polisiloksani*

Polisiloksani, koji predstavljaju jedne od najčešćih i najvažnijih organosilicijevih polimera, igraju ključnu ulogu u različitim industrijskim primjenama. Slika 7 prikazuje opću strukturu polisiloksana, a ključna funkcionalna skupina u sintezi ovih polimera je silanol ( $\text{SiO}(\text{Me})_2$ ). Polisiloksani su siloksanski hibridi koji se formuliraju s organskim smolama, poput epoksidnih ili akrilatnih sustava, kako bi se postigle željene karakteristike. Ova kombinacija smola često rezultira vrhunskim završnim premazima koji se ističu na tržištu. [10]

Jedna od iznimno uspješnih primjena polisiloksana javlja se kada se koriste kao završni premaz na cink temeljnim premazima. Ovaj sustav je pokazao izvanredne rezultate u testovima otpornosti na koroziju, što ga čini odličnim izborom u zaštiti metala od štetnih utjecaja okoliša. [10]

Kasnije iteracije polisiloksanskih premaza razvijene su s vrlo visokim sadržajem suhe tvari. Ovo poboljšanje rezultiralo je smanjenjem emisije hlapljivih organskih spojeva (HOS), što je postalo ključno s obzirom na rastuću zabrinutost za okoliš. Ova inovacija je, međutim, dovela do izazova s obzirom na lokalne i regionalne propise koji sada postavljaju strože zahtjeve za sadržajem HOS-a.

S obzirom na širok spektar primjena, polisiloksanski premazi nastavljaju biti ključni igrači u industriji završnih premaza, nudeći izvanredne performanse i prilagođavanje suvremenim ekološkim standardima.

### 3.1.6.1. Anorganski polisiloksani

Tipični anorganski polisiloksani obično prolaze hidrolitičku polikondenzaciju za postizanje otvrdnjavanja. Ovaj proces omogućuje formiranje čvrstog i stabilnog polimernog filma. Pravilno formulirani s aditivima i pigmentima, ovi polisiloksanski premazi pokazuju izniman otpor visokim temperaturama, izdržavajući ekstremne uvjete do približno 1400 °F (760 °C). Ova izuzetna termička stabilnost čini ih idealnim za primjene u kojima su povišene temperature neizbježne [10].

Dodatno, varijacije u pigmentima omogućuju stvaranje premaza s prilagođenim svojstvima, posebno u pogledu otpornosti na otapala. Ova prilagodljivost omogućuje optimizaciju performansi premaza prema specifičnim zahtjevima okoline i primjene. Premazi s izvrsnom otpornošću na otapala posebno su važni u industrijama gdje je izloženost kemikalijama uobičajena [10].

U konačnici, anorganski polisiloksanski premazi ne samo da pružaju visoku temperaturnu stabilnost već i prilagodljivost koja ih čini poželjnim izborom u širokom spektru industrijskih i komercijalnih aplikacija.

### 3.1.6.2. Hibridi epoksi-polisiloksana

Formulacija koja kombinira alifatske epoksidne smole, silikonske intermedijere, oksisilane i aminosilane stvara hibride premaza s iznimnom otpornošću na vremenske uvjete i koroziju. Ovaj inovativni pristup rezultira premazima koji su otporni na ekstremne uvjete, a njihovo otvrdnjavanje događa se kroz hidrolitičku polikondenzaciju i klasične epoksi-aminske mehanizme. Kao rezultat, formiraju se interpenetrirajuće polimerne mreže, čime se postiže jedinstvena kombinacija svojstava [10].

Interpenetrirajuće polimerne mreže, koje nastaju ovom dvostrukom otvrdnjavajućom metodom, pružaju premazima poboljšanu otpornost na vremenske utjecaje u usporedbi s konvencionalnim epoksidnim premazima. Ova kombinacija smola omogućuje stvaranje zaštitnog sloja koji je dugotrajan i izdržljiv. Premazi koji proizlaze iz ove formulacije često se koriste u zahtjevnim uvjetima, poput eksterijera građevinskih objekata, industrijskih postrojenja i drugih područja gdje je ključna dugotrajnost i otpornost na vremenske ekstreme [10].

### 3.1.6.3. Hibridi akril-polisiloksana

Spojem akrilnih i siloksanskih smola stvara se završni premaz s niskim udjelom hlapljivih organskih spojeva (HOS) i izuzetnom otpornošću na vremenske uvjete. Ovi sofisticirani sustavi mogu se proizvoditi u obliku jednokomponentnih ili dvokomponentnih sustava, pružajući prilagodljivost u primjeni prema specifičnim potrebama i uvjetima aplikacije.

Kombinacija akrilnih i siloksanskih smola donosi prednosti oba polimerna materijala. Akrilne smole doprinose čvrstoći i dugovječnosti premaza, dok siloksanske smole donose izvanrednu otpornost na vremenske utjecaje, uključujući UV zračenje, vlagu i ekstremne temperature. Ovaj spoj rezultira visokokvalitetnim završnim premazom koji se ističe u zaštiti površina od vanjskih agresivnih čimbenika.

Jednokomponentni sustavi nude jednostavnost primjene, dok dvokomponentni sustavi pružaju dodatnu kontrolu i prilagodljivost u pogledu tvrdoće i otpornosti. Ovi premazi često se koriste na vanjskim konstrukcijama, fasadama zgrada, industrijskim objektima te drugim površinama koje su izložene izazovima vremenskih uvjeta. Sposobnost prilagodbe formulacije ovih premaza omogućuje proizvodnju visokoučinkovitih rješenja za različite primjene.

### 3.1.6.4. Prednosti

Polisiloksani su iznimno korisni zbog niza prednosti koje nude u različitim aplikacijama, kao što su [12]:

- **Izvrсна otpornost na koroziju i kemikalije:** Polisiloksani se ističu svojom iznimnom otpornošću na koroziju i različite kemijske spojeve. To ih čini idealnim odabirom za zaštitu metalnih površina izloženih agresivnim okolišnim uvjetima ili kemikalijama.
- **Visoka UV otpornost:** Polisiloksani pokazuju visoku UV otpornost, čime štite površine od štetnog djelovanja sunčevih zraka. Ova karakteristika čini ih posebno prikladnima za vanjske aplikacije koje su izložene suncu, poput krovova, fasada ili vozila.

- **Više suhe tvari i niži HOS od poliuretanskih završnih premaza:** Polisiloksani često nude veći postotak suhe tvari i niži udio hlapljivih organskih spojeva (HOS) u usporedbi s poliuretanskim završnim premazima. To doprinosi poboljšanoj učinkovitosti premaza i smanjenju emisija štetnih spojeva.
- **Izvršno zadržavanje boje i sjaja:** Polisiloksani održavaju intenzitet boje i sjaja na duže vrijeme, čime pružaju estetski privlačan izgled premazanih površina. Ova svojstva čine ih poželjnim izborom u raznim industrijskim i komercijalnim primjenama.

Navedene prednosti čine polisiloksane svestranim rješenjem u raznim sektorima, uključujući građevinsku industriju, transport, industrijske premaze i druge aplikacije gdje je zaštita i estetika ključna.

#### 3.1.6.5. Nedostatci

Nedostaci polisiloksana, iako manje izraženi u odnosu na brojne prednosti, ipak trebaju biti uzeti u obzir prilikom razmatranja ove vrste premaza [12]:

- **Krhkost:** Polisiloksani imaju tendenciju postajati krhki s vremenom, posebno pod utjecajem ekstremnih temperatura. Ovaj faktor može ograničiti primjenu polisiloksana u situacijama gdje je potrebna visoka fleksibilnost premaza.
- **Novost na tržištu:** Budući da je polisiloksanski premaz relativno nov na tržištu, još uvijek prolazi kroz određena ispitivanja i evaluacije. To može predstavljati izazov za korisnike koji traže dugoročne rezultate i jasne informacije o performansama premaza.
- **Visoki troškovi:** Polisiloksani su obično skuplji od nekih drugih vrsta premaza, poput poliuretana. Ova činjenica može biti ograničavajući faktor u situacijama gdje je cijena ključan faktor prilikom odabira premaza.

Unatoč ovim nedostacima, važno je napomenuti da se tehnologija polisiloksana stalno razvija, a istraživanja i inovacije nastoje riješiti ove izazove. Kroz daljnji razvoj, možemo očekivati poboljšanja u fleksibilnosti, dugovječnosti i ekonomičnosti polisiloksanskih premaza.



#### 3.1.6.6. Primjena

Zahvaljujući svojim izvanrednim svojstvima otpornosti na UV zračenje, polisiloksanski premazi sve su značajniji na tržištu, a njihova primjena se proteže na različite industrije, s posebnim naglaskom na infrastrukturne projekte poput mostova. Njihova svestranost omogućuje im i široku primjenu u drugim sektorima, uključujući tržišta vode, otpadnih voda i morskih instalacija.

U posljednjim godinama, polisiloksanski premazi su se afirmirali kao izuzetno učinkoviti završni premazi na mostovima. Njihova sposobnost održavanja estetskog izgleda, čak i pod utjecajem intenzivnog UV zračenja, čini ih idealnim odabirom za dugotrajnu zaštitu mostova od vanjskih utjecaja.

Nadalje, ovi premazi dobivaju na značaju u područjima koja zahtijevaju izuzetnu otpornost na ekstremne uvjete. Primjerice, svojstva otpornosti na toplinu u nekim formulacijama polisiloksanskih premaza koriste se na spremnicima, dimnjacima i izoliranim cjevovodima. Ova svojstva omogućuju njihovu primjenu u industrijama gdje su izloženi visokim temperaturama, a istovremeno pružaju dugotrajnu i učinkovitu zaštitu od vanjskih elemenata.

Uzimajući u obzir široki raspon svojstava polisiloksanskih premaza, očekuje se da će njihova primjena i dalje rasti, posebno u područjima gdje su potrebna izdržljivost, dugovječnost i visoka otpornost na različite okolišne uvjete.

## 3.2. OTAPALA

Otapalo je tekućina koja posjeduje sposobnost otapanja drugih tvari, stvarajući otopinu u kojoj se otopljena tvar ravnomjerno raspoređuje. U kontekstu premaza i građevinskih primjena, otopljena tvar često predstavlja smolastu vezivnu komponentu koja mijenja svoje stanje prilikom formiranja otopine.

Otapalo ima dvostruku ulogu:

Otapalo: Tekućine koje otapaju druge tvari, stvarajući homogenu otopinu.

Razrjeđivač: Tekućine koje smanjuju koncentraciju drugih tekućina.

Osim svoje osnovne funkcije otapanja, otapala obavljaju i druge ključne zadatke u industriji, uključujući kontrolu viskoznosti za lakše nanošenje, potporu formiranju filma te vlaženje pigmentata i supstrata kako bi se olakšala disperzija i prijanjanje. Ključna svojstva otapala, osim njihove moći otapanja, uključuju i fizikalne karakteristike poput hlapljivosti, točke ključanja, površinske napetosti, viskoznosti i električne otpornosti/vodljivosti. [13]

### 3.2.1. Kootapala

Koalescentni agensi, poznati i kao kootapala, predstavljaju ključne tvorce filma u disperzijskim bojama, premazima te konstrukcijskim sustavima. Njihova uloga je optimizirati proces stvaranja filma od čestica polimernog veziva. Ovi agensi imaju sposobnost smanjenja minimalne temperature formiranja filma, čime poboljšavaju koherenciju filma, otpornost na abraziju, mehanička svojstva te općenito estetski izgled premaza.

U konkretnom kontekstu, kootapala djeluju kao pomoćna sredstva koja olakšavaju stvaranje jednolike, čvrste strukture filma od dispergiranih polimernih čestica. Njihova prisutnost u formulacijama boja i premaza ima značajan utjecaj na procese poput sušenja i otvrdnjavanja, čineći filmove otpornijima na trošenje, poboljšavajući mehanička svojstva i pridonoseći ukupnom vizualnom dojmu premaza. Kootapala također doprinose postizanju željenih karakteristika filma, poput visoke izdržljivosti.

Uz navedene učinke, kootapala se često koriste kako bi se postigla optimalna ravnoteža između procesa proizvodnje i kvalitete konačnog proizvoda. Njihova uloga u stvaranju filma ima šire implikacije na performanse premaza, čineći ih konkurentnijima na tržištu i zadovoljavajućima prema zahtjevima krajnjih korisnika. [13]

### 3.2.2. Hlapivost

Sušenje premaza predstavlja kombinaciju procesa u kojima hlapiva tvar isparava iz početno tekućeg filma, stvarajući krajnji proizvod s željenim fizičkim svojstvima premaza. Važno je napomenuti da se isparavanje odnosi ne samo na gubitak hlapivosti iz tekućeg filma, već i iz polusuhog filma. Brzina isparavanja organskog otapala ima značajan utjecaj iz nekoliko razloga.

Protok: Otapalo koje sporije isparava omogućava premazu dulje zadržavanje tekućeg ili vlažnog stanja, čime se poboljšava izravnavanje površine premaza.

Sjaj: Što je bolji protok ili izravnavanje, to rezultira većim sjajem premaza.

Otpornost na gubitak sjaja: Otapalo koje brzo isparava naglo snižava temperaturu površine premaza, uzrokujući kondenzaciju vlage na mokrom premazu. Ta vlaga može reagirati s određenim filmoformatorima, što dovodi do taloženja tih tvari i potencijalnog mliječnog izgleda ili gubitka sjaja. [13]

### 3.3. PIGMENTI

Pigmenti predstavljaju fino mljevene prirodne ili sintetičke, netopive čestice koje se koriste za stvaranje boje prilikom dodavanja bojama i formulacijama premaza. Osim toga, koriste se i za postizanje određenog volumena ili željenih fizikalnih i kemijskih svojstava u mokrom ili suhom filmu. Pigmenti se klasično dijele na dvije glavne kategorije [9]:

- Organski pigmenti
- Anorganski pigmenti.

Dok se organski pigmenti teže raspršuju i tvore aglomerate, anorganski pigmenti se lakše raspršuju u smoli. Funkcionalna punila dodaju željena svojstva premazu, poput inhibicije korozije, dok pigmenti s posebnim efektima stvaraju optičke efekte, kao što su metalik završne obrade. [14]

#### 3.3.1. *Pigment i boja*

Pigmenti su materijali, bilo organski ili anorganski, obojeni, bijeli ili crni, koji su praktički netopivi u mediju u kojem su raspršeni. Oni čine različite čestice koje daju boju i neprozirnost mediju. Ove čestice, nazvane primarne čestice, imaju strukturu i oblik koji ovise o kristalnosti pigmenta. U procesu proizvodnje pigmenta, primarne čestice obično se agregiraju stvarajući aglomerate.

Prilikom raspršivanja pigmenata u polimerima, često je potrebno značajno smanjenje aglomerata (poboljšava se čvrstoća nijansiranja). Pigmenti se, stoga, moraju odupirati otapanju u otapalima s kojima dolaze u kontakt tijekom nanošenja, kako bi se izbjegli problemi poput "krvarenja" i migracije. Osim toga, ovisno o zahtjevima specifične primjene, pigmenti moraju biti otporni na svjetlost, vremenske uvjete, toplinu i kemikalije poput kiselina i lužina. [14]

#### 3.3.2. *Organski pigmenti*

Organski pigmenti mogu potjecati od životinja, biljaka ili sintetske organske kemije. Iako su tradicionalni pigmenti često proizvedeni iz prirodnih izvora, većina modernih pigmenata proizvodi se sintetskom organskom kemijom.

Sintetski organski pigmenti često se dobivaju iz aromatskih ugljikovodika, uključujući katran ugljena i druge petrokemijske tvari. [14]

Organske pigmente karakteriziraju sljedeća svojstva [14]:

**Kvaliteta boje:** Iako većina organskih pigmenata ima proziran karakter, ističu se po svom neusporedivom tonalitetu. Organski pigmenti pružaju svijetle i bogate boje, često pružajući snažan dojam nijansi unatoč svojoj prozirnosti.

**Visoka cijena:** Organski pigmenti obično su skuplji za proizvodnju, posebno sintetski organski pigmenti. Sintetski pigmenti zahtijevaju znatnu količinu kemijske obrade tijekom proizvodnje, što povećava njihov trošak po volumenu.

**Različita svjetlosna postojanost:** Postoji mnogo vrsta organskih pigmenata, no većina njih ima ograničenu postojanost kada su izloženi svjetlu. Dok neki dobro podnose izlaganje svjetlu i toplini, drugi će s vremenom izbledjeti.

### 3.3.3. Anorganski pigmenti

Anorganski pigmenti sastoje se od suhih mljevenih minerala, obično metala i metalnih soli. Zbog svojeg sastava, anorganski pigmenti su obično neprozirniji i manje topljivi od svojih organskih pandana. Općenito, anorganski pigmenti često su preferirani u industriji zbog svoje izvrsne svjetlosne postojanosti i relativno niske cijene.

Neka od najznačajnijih pozitivnih i negativnih svojstava anorganskih pigmenata uključuju [14]:

**Izvrсна otpornost na blijedenje:** Jedna od prednosti anorganskih pigmenata je njihova izvršna otpornost na blijedenje prilikom izlaganja svjetlu. Oni također pokazuju tendenciju da budu otporniji na blijedenje kad su izloženi otvorenom zraku i toplini.

**Isplativost:** Anorganski pigmenti obično su jeftiniji za proizvodnju, posebno kada se proizvode u velikim količinama.

**Loš tonalitet:** Iako anorganski pigmenti obično zadržavaju boju, poboljšanje tonaliteta i svjetline često zahtijeva miješanje s organskim pigmentima ili bojama.

**Toksičnost:** Anorganski pigmenti mogu biti štetniji za okoliš zbog prisutnosti olovnih soli u njihovom sastavu, a neki od njih su čak potpuno otrovni. Potrebna je posebna pažnja u rukovanju s tim pigmentima radi smanjenja negativnih utjecaja na okoliš.

### 3.4. PUNILA

Anorganska punila, poznata i kao pigmenti bez pokrivne moći, imaju važnu ulogu u premazima. Budući da im je indeks loma sličan tvari koja tvori film, oni sami nemaju moć prekrivanja. Ipak, njihova prisutnost doprinosi povećanju debljine premaznog filma. Ovaj pristup može rezultirati smanjenjem troškova proizvodnje boje. Punila su također korisna u prilagodbi reoloških svojstava premaza, poput zgušnjavanja i sprječavanja taloženja. Dodatno, poboljšavaju mehaničku čvrstoću filma premaza, što rezultira boljom otpornošću na habanje i produženom trajnošću. Optička svojstva premaza mogu se prilagoditi upotrebom punila, uključujući matiranje premaznog filma. Neka punila posebnih oblika mogu efikasno blokirati prodiranje svjetlosti, unaprijediti otpornost premaza na vremenske uvjete i produljiti vijek trajanja premaznog filma [15].

Punila se mogu podijeliti u pet vrsta: barij, silicij, silikat, karbonat, silikat i aluminijev hidroksid [15].

### 3.5. ADITIVI

Aditivi predstavljaju ključnu komponentu u formulaciji premaza. Čak i mala količina aditiva može znatno unaprijediti učinkovitost i performanse premaza, pridonoseći istovremeno poboljšanju svojstava premaznog filma te omogućujući personalizaciju proizvoda. Njihova nezaobilazna uloga u svijetu premaza proizlazi iz njihove sposobnosti uklanjanja neželjenih svojstava prilikom razvoja novih premaza.

Dodajući ih u manjim količinama, s obzirom na volumen premaza, potrebna je pažnja, jer u većim količinama aditivi mogu postati toksični. S obzirom na njihovu čestu upotrebu, proizvođači ih uključuju tijekom procesa stvaranja novih premaza kako bi eliminirali neželjena svojstva.

Raznolike vrste aditiva koriste se za poboljšanje različitih aspekata premaza, uključujući konzistenciju, protok, vlaženje površine, boju, otpornost na ultraljubičasto svjetlo, te za sprječavanje taloženja u ambalaži (sredstva za suspenziju).

S obzirom na specifičnosti djelovanja, aditive možemo podijeliti na sljedeće kategorije [15]:

1. **Sušila i katalizatori:** Ključni za ubrzanje procesa sušenja premaza, sušila, poznata i kao sikativi, sadrže organometalne spojeve koji potiču brže sušenje.
2. **Konzervansi:** Biocidi, ili konzervansi, štite premaze od rasta bakterija i drugih štetnih organizama, pridonoseći time očuvanju proizvoda.
3. **Svjetlosni stabilizatori:** Ovi aditivi čuvaju premaze od degradacije uzrokovane ultraljubičastim svjetlom, poboljšavajući tako njihovu trajnost.
4. **Korozijski inhibitori:** Antikorozivni pigmenti koriste se za postizanje premaza s dobrim svojstvima korozijske zaštite, sprječavajući razvoj hrđe.
5. **Aditivi za poboljšanje izgleda površine:** Modifikatori površine omogućavaju postizanje specifičnih učinaka za poboljšanje i zaštitu izgleda, klizanja, otpornosti na abraziju i cjelokupne trajnosti premaza.
6. **Okvašivači i disperzanti:** Ovi aditivi igraju ključnu ulogu u procesu disperzije, ravnomjerno raspoređujući čvrste čestice u tekućini.
7. **Reološki aditivi:** Modificiraju ponašanje tečenja premaza, prilagođavajući ga specifičnim potrebama i zahtjevima aplikacije.
8. **Antipjeniči:** Snižavaju površinsku napetost premaza u prisutnosti mjehurića, sprječavajući nastanak pjene.

### 3.5.1. Sušila i katalizatori

Sušila igraju ključnu ulogu kao aditivi u bojama i premazima, ubrzavajući proces auto oksidacije. Njihova prisutnost ključna je za stvaranje tvrdog filma, čime se postiže optimalno sušenje unutar nekoliko sati nakon nanošenja boje. Bez ovih katalizatora sušenja, proces umrežavanja može se znatno usporiti, dovodeći do duljeg vremena sušenja, ponekad i nekoliko mjeseci nakon aplikacije boje.

Sušila, također poznata kao sikativi, predstavljaju organometalne spojeve topljive u organskim otapalima i vezivnim sredstvima.

Primjerice, kemijska sušila poput kobalt-etilheksanoata pripadaju klasi metalnih sapuna te se dodaju u sustave premaza kako bi potaknula i ubrzala proces sušenja na zraku. [16]

Proces oksidativnog umrežavanja vezivnog sustava, koji rezultira transformacijom tekućeg filma u čvrsti stupanj, kataliziran je metalnim kationom sušila. Kation, aktivni dio sušila metalnih karboksilata, ključan je za ovu kemijsku transformaciju.

U prošlosti su se često koristila olovna sušila, no zbog toksičnosti, danas su većina boja zamijenila ove sušile manje toksičnim alternativama. Ovaj potez prema manje štetnim opcijama predstavlja važan korak prema očuvanju okoliša i sigurnosti ljudi. [16]

### 3.5.2. Konzervansi

Konzervansi, poznati i kao biocidi, predstavljaju ključne tvari koje se koriste za sprječavanje rasta bakterija i drugih štetnih organizama, uključujući gljivice. Biocidi su dostupni u različitim oblicima, uključujući halogene ili metalne spojeve, organske kiseline te organski sumpor. Njihova raznolika svojstva igraju važnu ulogu u širokom spektru industrija, uključujući boje i premaze, tretman vode, konzerviranje drva te prehrambenu i piću industriju.

Posebno u industriji boja i premaza, porast primjene biocida pripisuje se njihovim antimikrobnim, antigljivičnim i antibakterijskim svojstvima, zajedno s rastom građevinske industrije. Ova dva ključna čimbenika vjerojatno će rezultirati povećanom potražnjom za biocidima. Biocidi se dodaju bojama i premazima kako bi se efikasno ograničio rast neželjenih gljivica, algi i bakterija koje bi inače narušile kvalitetu i izgled premaza. [17]



### 3.5.3. Svjetlosni stabilizatori

Iako većina polimera ne apsorbira ultraljubičasto svjetlo izravno, gotovo sve boje sadrže materijale koji apsorbiraju UV svjetlo. Ultraljubičasto zračenje koje dolazi od Sunca pogoršava performanse premaza, dok i umjetna svjetlost može izazvati sličan učinak.

Postoje dvije glavne vrste svjetlosnih stabilizatora. Prvi tip je UV apsorber koji apsorbira štetno UV svjetlo kako bi zaštitio premaz. Drugi tip jeaminski svjetlosni stabilizator koji se veže za slobodne radikale kako bi se spriječila degradacija premaza.

UV apsorberi apsorbiraju UV svjetlo kako bi spriječili razgradnju. Oni su bezbojni ili gotovo bezbojni aditivi s jakom apsorpcijom u ultraljubičastom dijelu spektra. [18]

Aaminski svjetlosni stabilizatori (Hindered Amine Light Stabilizer - HALS) vežu slobodne radikale prije nego što mogu pokrenuti naknadne reakcije koje dovode do razgradnje. HALS može spriječiti termooksidaciju, čime se održava otpornost polimera na fotodegradaciju. Ova pojava proizlazi iz činjenice da oksidacijski proizvodi HALS-a, poput hidroksilamina i aminoetera, mogu inhibirati foto-razgradnju. Ove tvari su u mogućnosti vezati slobodne radikale peroksida. [18]

### 3.5.4. Korozijski inhibitori

Za premaze s učinkovitom korozijskom zaštitom koriste se antikorozivni pigmenti. Ti pigmenti postupno kemijski pasiviziraju metalnu površinu, posebno kromati, fosfati i molibdati. Osim toga, oni mogu djelovati kao žrtveni pigmenti u kombinaciji s cinkovim oksidom, poput inhibitora korozije cink fosfata. Važno je napomenuti da korozijski inhibitori nemaju svojstva pigmenta, jer su topivi u organskim otapalima i ne posjeduju boju. Međutim, treba imati na umu da neki od ovih pigmenata često nisu ekološki prihvatljivi.

Temeljem raznolikih struktura, kao što su amini, kiseline, polimeri i soli, ovi proizvodi stvaraju zaštitnu barijeru na površini metala. Time se sprječava kemijska reakcija koja dovodi do razvoja hrđe, čime se formira pasivirajući sloj koji efikasno sprječava oksidaciju metala. [2]

### 3.5.5. Aditivi za poboljšanje izgleda površine

Aditivi za poboljšanje izgleda površine, poznati i kao modifikatori površine, predstavljaju ključnu komponentu koja omogućuje formulatorima postizanje specifičnih učinaka za poboljšanje i zaštitu izgleda, klizanja, otpornosti na abraziju te cjelokupne trajnosti premaza.

Na tržištu je dostupan širok raspon polimernih vrsta i veličina čestica kako bi se kontrolirala svojstva izvedbe u raznim primjenama, uključujući metal, drvo, tisak i pakiranje.

Mnogi aditivi za poboljšanje izgleda površine formulirani su koristeći kombinacije voštanih polimera. Ovi građevni blokovi mogu uključivati polipropilen, mikrokristalne, amidne voskove, politetrafluoroetilen (PTFE), polietilen i silicij. Nakon formulacije, različite vrste modifikatora površine dostupne su u obliku praha i tekućine, uključujući mikronizirani prah, vodene disperzije i disperzije na bazi otapala, emulgirane oblike te voskom tretirani silicij. Svi ovi oblici pružaju raznovrsne funkcije i koriste se u različitim industrijama. [19]

### 3.5.6. Okvašivači i disperzanti

Različite vrste aditiva igraju ključnu ulogu u procesu disperzije, gdje se čvrste čestice, poput pigmenata i punila, distribuiraju i stabiliziraju u tekućini. U ovom procesu, vlaženje predstavlja prvi korak. Zrak koji okružuje čvrste čestice u aglomeratu mora biti zamijenjen tekućinom. Vlaženje nastaje kada je površinska napetost tekućine niska u usporedbi s površinskom energijom čvrstih čestica. Sredstvo za vlaženje obavlja svoju funkciju tako što molekule adsorbira i orijentira na sučelju tekućina-zrak.

Spontani proces lijepljenja čvrstih čestica u tekućini naziva se flokulacija. Disperzanti imaju ključnu ulogu u sprječavanju flokulacije. Molekule disperzanata adsorbiraju se na sučelju između krute i tekuće faze, čime osiguravaju odbojnost između čestica. [20]

#### 4. PROJEKTIRANJE ZAŠTITE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Razvoj i primjena premaza za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije ključan je za očuvanje materijala i dugovječnost, s obzirom na ozbiljne ekonomske i ekološke posljedice korozijskih procesa. Projektiranje zaštite od korozije novih čeličnih konstrukcija premazima uključuje postavljanje uvjeta zaštite prema normi HRN EN ISO 12944, koja ovisno o korozivnosti okoliša i vijeka trajanja propisuje sustave zaštite premazima koji se sastoje od temeljnog, međusloja i završnog sloja definiranih minimalnih debljina.

**Temeljni premazi** pružaju ključne značajke poput snažne adhezije na podlogu, velike kohezije, inertnosti te elastičnosti za praćenje dilatacije podloge. Aktivna zaštita od korozije temelji se na antikorozivnim pigmentima koji čine veći dio masenog udjela, a nanose se kistovima kako bi se osigurala duboka penetracija. Njihova glavna svrha je spriječiti koroziju direktnim kontaktom s metalom.

Glavne značajke temeljnog premaza [21]:

1. **Prionjivost (adhezija):** Ova značajka odnosi se na sposobnost temeljnog premaza da čvrsto prijanja na podlogu, u ovom slučaju, čelik. Jaka veza s metalnom površinom sprječava odvajanje premaza, čime se osigurava stabilna i dugotrajna zaštita od korozije.
2. **Kohezija:** Kohezija predstavlja unutarnju čvrstoću samog premaza. Velika kohezija osigurava održavanje integralnosti i postojanosti premaza, čineći ga otpornim na pucanje, odvajanje ili ljuštenje. To je ključno za dugovječnost i učinkovitost premaznog sustava.
3. **Inertnost:** Inertnost temeljnog premaza odnosi se na njegovu otpornost na kemijske agense i koroziju. Ova značajka sprječava nepoželjne reakcije s okolišem, kao što su korozivne tvari ili kemikalije, čime se čuva integritet čelične konstrukcije.
4. **Vezivanje s međupremazom:** Temeljni premaz ima važnu ulogu u uspostavljanju čvrste veze s međupremazom. Ova veza omogućava učinkovitu prijenos toplinskih, kemijskih i mehaničkih svojstava između slojeva premaza, poboljšavajući ukupnu otpornost na koroziju.

5. **Elastičnost:** Elastičnost se odnosi na sposobnost premaza da prati dilataciju podloge, odnosno promjene u dimenzijama uzrokovane temperaturnim fluktuacijama ili drugim čimbenicima. Elastični temeljni premaz može apsorbirati deformacije na površini čelika, sprječavajući pucanje i osiguravajući dugovječnost premaznog sustava.

**Međupremazi** imaju ulogu povećanja debljine zaštitnog filma, poboljšanja kemijske otpornosti, nepropusnosti na vlagu, povećanja električnog otpora, osiguravanja čvrste kohezije i stvaranja jake veze između temeljnog i završnog sloja. Sastavljeni od listićavih pigmentata, otežavaju prodor vlage i kisika do podloge, pridonoseći ukupnoj učinkovitosti sustava.

Glavne značajke međupremaza su [21]:

1. Potrebna debljina sustava premaza:

Međupremazi doprinose postizanju određene debljine ukupnog premaznog sustava. Ova debljina igra ključnu ulogu u učinkovitoj zaštiti čeličnih konstrukcija od korozije, pružajući dovoljno materijala koji sprečava izravan kontakt metalne površine s vanjskim čimbenicima.

2. Jaka kemijska otpornost:

Međupremazi često sadrže posebne kemikalije i pigmente koji pružaju dodatnu otpornost na različite kemijske tvari. Ova svojstva pomažu u sprječavanju kemijskog oštećenja ili korozije izazvane agresivnim tvarima u okolini.

3. Nepropusnost na vlagu:

Održavanje nepropusnosti na vlagu ključno je za sprječavanje prodora vlage do metalne površine ispod premaza. Međupremazi se formuliraju s posebnim materijalima koji pružaju barijeru protiv vode, sprječavajući tako koroziju izazvanu vlagom.

#### 4. Povećani električni otpor:

Međupremazi doprinose povećanju električnog otpora čeličnih konstrukcija. Ovo svojstvo može biti važno u situacijama gdje je potrebno spriječiti električnu provodljivost ili smanjiti rizik od elektrokemijske korozije.

#### 5. Jaka kohezija:

Kohezija međupremaza odnosi se na čvrstoću slojeva međupremaza međusobno. Ova čvrsta kohezija osigurava da premazni sustav djeluje kao jedinstvena cjelina, sprječavajući odvajanje pojedinih slojeva i čuvajući integritet zaštite od korozije.

#### 6. Jaka veza između temeljnoga i završnoga sloja:

Međupremazi su ključni u uspostavljanju čvrste veze između temeljnog i završnog sloja premaza. Ova veza osigurava da se svi slojevi premaza ponašaju koordinirano, čime se postiže optimalna učinkovitost u zaštiti čelične konstrukcije. Snažna veza sprječava odvajanje slojeva i održava kontinuitet zaštite.

**Završni premazi** zadovoljavaju estetske kriterije, štiteći prethodne slojeve od vanjskih utjecaja. Osim toga, obavljaju i specifične funkcije poput zaštite od širenja požara, protukliznog djelovanja te sprječavanja obrastanja podvodnih konstrukcija. Njihove glavne funkcije obuhvaćaju otpornost na vremenske uvjete, kemikalije, vlagu, trošenje te pružanje dugotrajnog i lijepog izgleda čeličnih konstrukcija. Sve ove faze premaznog sustava integrirane su kako bi pružile sveobuhvatnu zaštitu od korozije, osiguravajući dugovječnost i sigurnost čeličnih konstrukcija.

Glavne značajke završnih premaza su [21]:

##### 1. Osigurati otpornost sustava premaza:

Završni premazi igraju ključnu ulogu u ukupnoj otpornosti sustava premaza. Oni pridonose stvaranju zaštitnog štita koji čuva čelične konstrukcije od vanjskih čimbenika, kao što su korozija, abrazija ili utjecaji okoliša.

2. Tvoriti prvu barijeru prema utjecajima okoline:  
Završni premazi djeluju kao prva linija obrane čeličnih konstrukcija, stvarajući barijeru koja sprečava izravan kontakt materijala s vanjskim faktorima. To uključuje zaštitu od vode, atmosferskih onečišćenja, sunčevog zračenja i drugih vanjskih utjecaja.
3. Osigurati otpornost na kemikalije, vodu, različite vremenske uvjete:  
Završni premazi formuliraju se s posebnim svojstvima koja pružaju otpornost na kemikalije, vlagu i različite vremenske uvjete. Ova svojstva sprječavaju oštećenje premaza i čelične konstrukcije, čuvajući strukturu od nepovoljnih uvjeta.
4. Osigurati otpornost na trošenje:  
Završni premazi pružaju zaštitu od trošenja uzrokovanog fizičkim stresom, trenjem ili abrazijom. Ovo je posebno važno u područjima gdje postoji visoka izloženost mehaničkim oštećenjima, poput čeličnih konstrukcija u industrijskim postrojenjima ili infrastrukturnim projektima.
5. Osigurati lijep izgled:  
Estetski aspekt završnih premaza nije samo kozmetički; također je važan jer doprinosi održavanju vizualnog izgleda čeličnih konstrukcija. Otpornost na izbljeđivanje, očuvanje boje i sjaja važni su za dugotrajnu privlačnost i čuvanje estetskog standarda.

## 5. PROTUPOŽARNI PREMAZI

Protupožarni ili vatrootporni premazi su ključni element pasivne zaštite od požara čeličnih konstrukcija u građevinskom sektoru, gdje se u posljednje vrijeme bilježi porast primjene protupožarnih sustava. Važno je razumjeti razliku između aktivne i pasivne zaštite od požara kako bi se efikasno suzbio širenje vatre. [21]

**Aktivna zaštita od požara** uključuje dinamične metode koje zahtijevaju određeno djelovanje kako bi se požar ugasio ili kontrolirao. To uključuje sustave poput sprinklera i aparata za gašenje vatre koji reagiraju na detekciju požara i pružaju trenutačnu intervenciju.

S druge strane, **pasivna zaštita od požara** usredotočena je na preventivne mjere koje sprječavaju širenje vatre i smanjuju njezin utjecaj. Među ključnim pasivnim metodama spadaju protupožarni premazi, ekspanzirajuće ploče, vatrozidovi te upotreba vatrootpornih pjena.

**Protupožarni premazi** obično se primjenjuju na građevinske materijale kako bi im se poboljšala otpornost na vatru. Ti premazi stvaraju zaštitni sloj koji se aktivira pri izloženosti visokim temperaturama, sprječavajući ili usporavajući širenje požara. Ovi premazi često sadrže specifične kemikalije koje reagiraju na toplinu, stvarajući izolacijski sloj između materijala i vatre.

**Ekspanzirajuće ploče**, vatrozidovi i vatrootporne pjene također čine ključne komponente pasivne zaštite. Ekspanzirajuće ploče mogu se postaviti kao dodatni sloj na konstrukcijske materijale, pružajući dodatnu izolaciju od visokih temperatura. Vatrozidovi su strukturni elementi dizajnirani da ograniče širenje vatre na određena područja, dok vatrootporne pjene nude izolacijska svojstva i doprinose smanjenju toplinske provodljivosti.

U suvremenom građevinskom planiranju, integracija protupožarnih premaza i drugih pasivnih metoda od iznimne je važnosti kako bi se osigurala sigurnost i minimalizirale štete uzrokovane požarima. Ovi sustavi pridonose cjelovitom pristupu protupožarnoj sigurnosti, čime se štiti ne samo imovina, već i životi ljudi ugrađenih u takve strukture.

## 5.1. VRSTE PASIVNE ZAŠTITE ČELIKA OD POŽARA

### 1. Ne-reaktivne vrste [21]:

- a. **Ploče:** Debeli slojevi materijala, često mineralnih vlakana ili gipsa, postavljeni izravno na čeličnu konstrukciju kako bi pružili termičku izolaciju i otpornost na požar.
- b. **Anorganski premazi:** Premazi s anorganskim materijalima, poput staklene vune, koji se nanose na čelične elemente radi sprječavanja prijenosa topline i održavanja strukturalne integriteta u slučaju požara.
- c. **Pjena:** Upotreba posebnih vatrootpornih pjena koje se mogu postaviti na čelične konstrukcije kako bi pružile izolaciju i otpornost na požar.
- d. **Zid:** Vatrozidovi, izgrađeni od posebnih materijala, postavljeni kako bi ograničili širenje požara na određena područja.
- e. **Omot/Plast:** Zaštitni omotač koji se primjenjuje na čelične stupove ili grede, obično izrađen od materijala poput intumescentnih premaza koji se šire pod utjecajem topline, stvarajući izolacijski sloj.

### 2. Reaktivne vrste [21]:

- a. **Protupožarni premazi:** Specifični premazi koji reagiraju na povišene temperature tijekom požara. Ti premazi često sadrže intumescentne materijale koji se šire pod utjecajem topline, stvarajući izolacijski sloj koji štiti čeličnu konstrukciju od visokih temperatura.

Intumescentni ili ekspandirajući premaz, također poznat kao protupožarni premaz, predstavlja inovativni materijal čija ključna karakteristika leži u sposobnosti ekspanzije pod utjecajem topline. Kada je izložen visokim temperaturama, ovaj premaz proživljava dinamičan proces ekspanzije, stvarajući izolacijski sloj koji ima ključnu ulogu u zaštiti čeličnih konstrukcija od topline.

Važno svojstvo intumescentnog premaza je njegova sposobnost formiranja nepovratne kemijske i fizikalne reakcije pod utjecajem topline. Ovaj proces rezultira stvaranjem strukture koja bubri i pjeni, stvarajući izolirajuću barijeru koja efikasno štiti čelik.



Značajno je napomenuti da je kemijski proces endoternog karaktera, što znači da tijekom reakcije apsorbira nastalu toplinu. Ova karakteristika pridonosi efektu hlađenja čelika, usporavajući porast temperature čelične konstrukcije tijekom požara.

Intumescentni premazi su ključni element pasivne zaštite od požara jer aktivirajući svoje karakteristične osobine pružaju vitalnu zaštitu čeliku. Njihova uloga leži u stvaranju sigurnosnog sloja koji sprječava direktnu izloženost čelika ekstremnim temperaturama, čime se značajno povećava otpornost konstrukcije na požar [21].

## 5.2. OSNOVNE VRSTE POŽARA

Postoje dvije temeljne vrste požara: celulozni požari, koji uključuju gorive materijale poput drva, papira i tkanina, te ugljikovodični požari, koji proizlaze iz izgaranja ugljikovodika, kao što su nafta i plin. Analizom prirode tih požara, moguće je razumjeti različite izazove s kojima se susrećemo u njihovom suzbijanju [21].

**Celulozni požari** karakteriziraju niže temperature sagorijevanja. S druge strane, **ugljikovodični požari** postižu znatno više temperature sagorijevanja, čineći ih opasnijima i izazovnijima za kontrolu. Prilikom odabira protupožarnog premaza, ključno je precizno specificirati vrstu zaštite prema vrsti požara kojoj je konstrukcija izložena.

Reaktivni intumescentni premaz reagira na porast temperature, počinjući bubriti na debljinu par puta veću od njegove izvorne debljine pri temperaturama od 200 – 250 °C. Ovaj proces rezultira stvaranjem debelog sloja pjene koji djeluje kao efikasna barijera protiv učinaka vatre i topline. Intumescentni premaz formira izolacijski sloj koji štiti čelik, znatno usporavajući zagrijavanje čelika do kritičnih 550 °C. U slučaju požara, protupožarni premaz osigurava stabilnost konstrukcije tijekom određenog vremenskog razdoblja, obično između 30 i 60 minuta, pružajući važno vrijeme za evakuaciju i postupke gašenja požara. Važno je napomenuti da kritična temperatura gubitka mehaničkih svojstava čelika iznosi 550 °C, dok je za aluminij ta temperatura niža, između 200 i 250 °C [21].

### 5.3. EKSPANDIRAJUĆI PREMAZI

Ekspandirajući premazi protiv požara su posebni materijali namijenjeni zaštiti od požara. Postoje dvije osnovne vrste ovih premaza, svaka prilagođena specifičnim uvjetima požara.

Ekspandirajući premazi protiv požara na tvarima na bazi celuloze [22]:

- Često nazivani tanko-slojni ekspandirajući premazi.
- Formulirani su na bazi akrila, što ih čini pogodnima za širok spektar primjena.
- Nanose se bezzračnim raspršivanjem ili valjkom, omogućujući ravnomjerno pokrivanje površine.
- Bijele su boje, što može biti estetski privlačno.
- Debljina suhog filma može varirati između 0,2 – 5 mm, pružajući tanki, ali učinkovit zaštitni sloj.
- Značajna ekspanzija od 40 – 60 puta pruža snažnu izolacijsku barijeru.

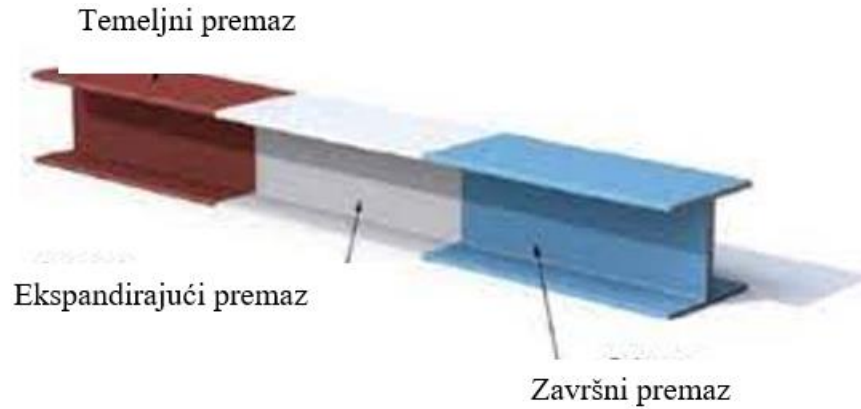
Ekspandirajući premazi protiv požara uzrokovanog sagorijevanjem ugljikovodika i motornog goriva [22]:

- Poznati i kao debeloslojni ekspandirajući premazi, prilagođeni specifičnim uvjetima požara uzrokovanih ugljikovodicima i gorivima.
- Formulirani su na bazi epoksida, pružajući snažnu zaštitu.
- Nanose se prskanjem, a zatim se lopaticom ravnomjerno raspoređuju.
- Dostupni su u sivim, plavim ili bež nijansama, pružajući više opcija za estetsko prilagođavanje.
- Debljina suhog filma varira između 2 – 4 mm, pružajući dovoljno debelu barijeru.
- Iako imaju nižu ekspanziju u usporedbi s premazima na bazi celuloze (obično 4 -10 puta), i dalje pružaju učinkovitu zaštitu.

Ova podjela omogućuje prilagodbu izbora ekspandirajućih premaza prema konkretnim uvjetima požara, nudeći pouzdanu zaštitu čelika uzimajući u obzir specifičnosti materijala i okoline.

## 5.4. PROTUPOŽARNI SUSTAV PREMAZA

Protupožarni sustav prikazan na Slika 7. sastoji se od temeljnog, ekspandirajućeg i završnog premaza.



Slika 7 Protupožarni sustav zaštite

Temeljni premaz igra ključnu ulogu u sustavu zaštite od požara i mora zadovoljiti niz specifičnih uvjeta kako bi osigurao optimalnu zaštitu. Temeljni premaz [22]:

Adhezija na podlogu u hladnom stanju:

- Osigurava čvrsto prijanjanje premaza na metalnu površinu čak i pri normalnoj temperaturi.

Antikorozivna zaštita:

- Sprječava koroziju čelika, pružajući dugotrajan zaštitni sloj.

Adhezija čađi:

- Održava snažno prijanjanje čak i nakon izlaganja vatri, sprječavajući otpadanje premaza pod utjecajem čađi.

Ekspandirajući Premaz:

Termička izolacija kod izlaganja požaru:

- Ekspandirajući premaz reagira na toplinu proširivanjem i stvaranjem izolirajućeg sloja, čime usporava porast temperature čelika.

Antikorozivni učinak barijere:

- Doprinose antikorozivnom djelovanju sustava premaza u vidu debeloslojne barijere, održavajući strukturalni integritet konstrukcije.

Završni premaz:

Estetska uloga:

- Pruža finalni izgled konstrukciji, često se prilagođava okolišu i estetskim preferencijama.

Izolacijska uloga:

- Štiti ekspandirajući sloj od vlage, nepotrebnog trošenja i izostanka aktivacije, doprinoseći dugotrajnosti zaštite.

Otpornost na atmosferilije:

- Održava stabilnost premaza pod utjecajem atmosferskih čimbenika u stvarnim uvjetima korištenja.

Uzajamna suradnja ovih premaza u potpunom sustavu omogućuje pouzdanu zaštitu od požara, čime se osigurava sigurnost i dugovječnost čeličnih konstrukcija.

## 5.5. SASTAV PROTUPOŽARNOG PREMAZA

Protupožarni premazi, suštinski važni u kontekstu pasivne protupožarne zaštite, prezentiraju iznimnu diverzifikaciju formulacija prilagođenih specifičnostima različitih okoliša. Navedeni premazi mogu biti koncipirani kao bezotapalni, otapalni ili vodeni.

Bezotapalni premazi:

- Ova formulacija, izuzeta od otapala, koncipirana je s ciljem proizvodnje ekološki održivih rješenja s minimiziranim rizicima od emitiranja štetnih tvari u okoliš.

Otapalima bazirani premazi:

- Ova kategorija premaza pruža veću fleksibilnost primjene i često se preporučuje za vanjske prostore, gdje specifični uvjeti postavljaju dodatne izazove.

Vodeni premazi:

- Sa središtem pažnje na unutarnje prostore, posebice u okruženjima s visokim standardima kvalitete zraka, vodeni premazi predstavljaju optimalan odabir za postizanje sukladnosti s normama i propisima.

Sustavi bazirani na termoplastičnim organskim spojevima, poput vinil acetata, akrila ili epoksida, često se koriste kao vezivna sredstva. Uključivanjem aktivnih tvari u formulaciju omogućuje se kemijska reakcija tijekom izlaganja vatri, daju rezultat formiranjem izolacijskog karbonatnog sloja. Ova tehnološka inovacija doprinosi povećanoj efikasnosti premaza u kontekstu zaštite od širenja požara i očuvanja strukture od visokih temperatura. Time se postiže napredna razina sigurnosti i prilagodljivosti protupožarnih premaza u heterogenim okruženjima [22].

## 5.6. POSTUPAK STVARANJA EKSPANDIRAJUĆEG SLOJA

Protupožarna ekspandirajuća boja, kada se izloži požaru ili visokim temperaturama, prolazi kroz dinamičan proces ekspanzije, stvarajući zaštitni izolacijski sloj. Ova pjena ima ključnu ulogu u usporavanju prijenosa topline te štiti površinu od zagrijavanja na razine koje bi inače uzrokovale negativne promjene u mehaničkim svojstvima materijala. Ekspanzijom, volumen premaza se povećava i do više od 100 puta, transformirajući tanak sloj od približno 1 mm u zaštitni sloj pepeljaste krute pjene debljine od oko 100 do 150 mm.

Tri ključne aktivne komponente prisutne u ekspandirajućim bojama doprinose ovom procesu [23]:

- Katalizator: Često se koristi amonijev polifosfat kao izvor kiseline.
- Izvor ugljika: U većini formulacija, penteritol ili dipentaeritol često djeluju kao izvor ugljika.
- Izvor inertnog plina: Melamin ili dicijandiamid najčešće generiraju dušik, igrajući ulogu izvora inertnog plina.

Sam proces stvaranja termoizolacijske pjene (vidljiv na slici 8.) iz ekspandirajućeg premaza odvija se u nekoliko faza.

Na temperaturi od otprilike 250 °C, amonijev polifosfat djelomično se raspada, oslobađajući amonijak i pretvarajući se u polifosfornu kiselinu. Ova kiselina ulazi u reakciju s poliolom, uklanjajući vodu i stvarajući ugljično-polifosfatnu strukturu, osnovni sastojak buduće pjene. U sljedećoj fazi, komponenta poput melamina raspada se, oslobađajući dušik, što pokreće ekspanziju materijala i formiranje termoizolacijske pjene [23].



Slika 8 Formirana termoizolacijska pjena nakon požara.

Iznimno je bitno naglasiti preciznu dinamiku procesa, gdje se prvo formira materijal za pjenu, a tek potom se oslobađa plin koji će ga ekspanzirati. Ključni su faktori da volumen pjene bude što veći, kompaktniji, bez pukotina, dovoljno čvrst, te da se optimalno prijanja na podlogu. Neophodno je postići visokokvalitetnu pjenu koja neće otpadati s površine, čime bi ostavila podlogu nezaštićenom. Stvorena pjena mora zadržati svoje izolacijske i zaštitne karakteristike, čime pridonosi učinkovitosti i pouzdanosti protupožarnog premaza.

Uloga veziva u premazima visoke važnosti ključna je za postizanje konačne kvalitete ovih vrsta protupožarnih premaza. Vezivo oblikuje film, a njegova kompaktnost određuje sposobnost zadržavanja homogenosti i gustoće stvorene pjene. Značaj veziva proteže se i na svojstva premaza prije izbijanja požara jer osigurava zaštitni omotač s izuzetnim fizičko-mehaničkim svojstvima. Osim toga, vezivo pruža odličnu adheziju na podlogu, otpornost na mehaničke utjecaje, agresivne čimbenike i atmosferske uvjete. Kroz vremenska ispitivanja, termoplastični akrilati, stirol-akrilati i vinilkloridi pokazali su se kao optimalna veziva, pridonoseći dugotrajnoj učinkovitosti i pouzdanosti protupožarnih premaza [23].

## 5.7. ISPITIVANJE PROTUPOŽARNE ZAŠTITE PREMA NORMI ETAG 018-2

Za procjenu i usporedbu učinkovitosti različitih vrsta protupožarnih materijala, koristi se norma naziva "ETAG N 018 Smjernica za europsko tehničko odobrenje proizvoda za zaštitu od požara; Dio 2 – Reaktivni premazi za zaštitu od požara čeličnih elemenata", izdana od strane Europske organizacije za tehnička odobrenja.

Prema ovoj normi, ispitivanje otpornosti i ispravnosti protupožarnih premaza za čelične konstrukcije provodi se na čeličnim profilima određenih faktora profila, koji su obloženi odgovarajućim premazima određene debljine. Tijekom testiranja, temperatura u peći i temperatura podloge se prate tijekom paljenja. Kada temperatura podloge na nekoliko točaka dosegne kritične vrijednosti, testiranje se zaustavlja, a postignuto vrijeme smatra se vremenom zaštite ili klasom otpornosti. [24]

Klasa otpornosti na požar određuje se vremenom (30 minuta, 45 minuta, 60 minuta, 120 minuta, 180 minuta) u kojem građevinski element ili konstrukcija zadržava stabilnost i sprječava prodor plamena ili toplinskog zračenja sukladno propisanim vrijednostima. Prilikom zaštite čeličnih elemenata, temperatura zagrijavanja konstrukcije ne smije prijeći 550 °C u uvjetima požara. Otpornost na požar se procjenjuje kroz ispitivanja u požarnim komorama. [24]

Na temelju rezultata ispitivanja, svaki proizvođač određuje minimalnu preporučenu debljinu protupožarnog premaza ovisno o faktoru profila za različite klase otpornosti na požar.

## 6. PROJEKTIRANJE PROTUPOŽARNE ZAŠTITE

Prilikom odabira metode protupožarne zaštite za čelične konstrukcije, ključno je uzeti u obzir opću definiciju i namjenu objekta. Primjena protupožarnog premaza može biti optimalna za trgovačke centre ili reprezentativne objekte, dok su protupožarne ploče pogodnije za visoku otpornost i estetski izgled. Za konstrukciju koja nije vidljiva, žbuke za protupožarnu zaštitu mogu biti razuman izbor.

Klasifikacija otpornosti konstrukcije na celulozni požar označava se simbolom R, često postignutom korištenjem sustava za zaštitu od požara. Zahtjevi za takav sustav su definirani standardom EN 13381 i moraju biti ispitani od strane akreditiranog laboratorija. Rezultati standardiziranih testova se koriste za generiranje izvještaja o klasifikaciji ili izdavanje dopuštenja prema EN 13501-2. Osim toga, tablice s dimenzijama često su dio klasifikacije, pružajući potrebne informacije o debljini premaza potrebnoj za protupožarnu zaštitu. [22]

Važan faktor za odabir je klasa požarne otpornosti, kao što su R30, R60, R90 itd. Ova klasa pretpostavlja primjenu zaštite koja je ispitana prema EN normama, standardnoj požarnoj krivulji, europskim tehničkim smjernicama poput ETAG 018 i ocijenjena prema skupini EN 13381. [22]

Pri izvođenju radova zaštite od požara, izvođač mora pažljivo odabrati odgovarajuću debljinu i materijal za zaštitu, slijedeći preporuke tablice za dimenzioniranje debljine premaza za zaštitu. Bitno je da se primjeni ispravna debljina materijala kako bi se osigurala adekvatna zaštita od požara i postigla potrebna otpornost konstrukcije. Ovaj korak je ključan za osiguranje sigurnosti objekta i za sprečavanje potencijalnih opasnosti.



## 6.1. ATMOSFERSKA IZLOŽENOST KONSTRUKCIJE

Prilikom odabira protupožarne zaštite za čelične konstrukcije, važno je uzeti u obzir atmosfersku izloženost konstrukcije, što obuhvaća različite uvjete pod kojima će konstrukcija raditi. Bitno je razmotriti jesu li to unutarnji prostori, polu izloženi prostori poput nadstrešnica ili prostori koji su potpuno izloženi na otvorenom. Osim toga, treba identificirati mogućnost visoke vlažnosti, prisutnost korozivne atmosfere ili druge specifične uvjete koji mogu utjecati na trajnost i učinkovitost protupožarne zaštite. [22]

Na primjer, konstrukcija koja je postavljena na otvorenom može biti izložena intenzivnijim vremenskim uvjetima poput kiše, snijega, sunca i vjetra, što zahtijeva protupožarnu zaštitu koja je otporna na koroziju. S druge strane, unutarnji prostori mogu zahtijevati protupožarnu zaštitu koja je prilagođena kontroliranim uvjetima temperature i vlage.

Stoga je važno temeljito analizirati okolišne uvjete kako bi se odabrao optimalni sustav protupožarne zaštite koji će osigurati trajnost i pouzdanost čelične konstrukcije u svim uvjetima izloženosti.

## 6.2. KRITIČNA TEMPERATURA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Uzimajući u obzir različite parametre pri odabiru protupožarne zaštite za čelične konstrukcije, još jedan važan podatak jest kritična temperatura konstrukcije ili pojedinačnih nosivih elemenata. Kritična temperatura definira točku pri kojoj čelična konstrukcija ili pojedini elementi gube svoju nosivost pod specifičnim opterećenjem. Ova vrijednost se obično izračunava prema euro kodovima i može varirati, a često se kreće između 500 °C do 550 °C, iako ta vrijednost nije konstantna u svim situacijama. [22]

Važno je napomenuti da što je veća kritična temperatura, manja će biti potreba za protupožarnom zaštitom za konstrukciju, dok je situacija obrnuta za niže kritične temperature.

Konstrukcije s profilima tankih stijenki, posebno kategorije 4, mogu biti izazovne jer automatski dolaze do kritične temperature od 350 °C ako njihova kritična temperatura nije posebno izračunata.

Projektant čelične konstrukcije mora u svojoj dokumentaciji pružiti informacije o kritičnoj temperaturi za kompletnu konstrukciju ili za svaki pojedinačni element. Osim toga, pri odabiru sustava protupožarne zaštite, bitna su i druga ograničenja kao što su težina zaštite, estetski izgled, otpornost na vlagu, mehanička čvrstoća, zahtjevi za negorivost A1, suha montaža, dimenzije profila, niske temperature, brzina montaže i mnoga druga. Sve te čimbenike treba pažljivo razmotriti kako bi se odabrala najprikladnija protupožarna zaštita za specifične potrebe konstrukcije [22].

### 6.3. ODREĐIVANJE DEBLJINE KONSTRUKCIJE

Za precizno određivanje potrebne debljine protupožarne zaštite za čelične konstrukcije, ključno je osigurati detaljan opis vrste čeličnih profila kako bi se izračunao faktor profila. Većina čeličnih profila standardizirana je, pa je u projektnoj dokumentaciji nužno navesti tipove profila i njihove duljine.

Faktor profila, označen kao  $A_p/V$ , definira se kao omjer između opsega profila izloženog požaru i presjeka profila. Ovaj faktor ovisi o geometriji profila, debljini stijenke profila te vrsti primijenjene zaštite. Za ploče, faktor profila se izračunava kao omjer između unutarnjeg omotača i presjeka profila [22].

Važno je napomenuti da ako je određena strana profila zaštićena osnovnom konstrukcijom, kao što je slučaj kod prednapregnutih stropova, to treba biti jasno naznačeno u dokumentaciji jer ima utjecaj na izračun faktora profila. U tom scenariju, govorimo o trostranoj umjesto o četverostranoj zaštiti. Ovakva precizna specificiranost uvjeta omogućuje optimizaciju količine protupožarne zaštite, što može rezultirati smanjenjem potrebne debljine zaštite u određenim situacijama.

Da bi se odredila ispravna debljina materijala potrebni su sljedeći ulazni podaci [22]:

- Odabir materijala
- Konfiguracija protupožarnih mjera
- Razina zaštite od požara (R30, R60, R90 itd.)
- Informacije o traženim toplinskim naprezanjima na krivulji vrijeme/temperatura (npr. ISO 834)
- Kritična temperatura od 550 °C za čelik
- Pojednostosti svih tipova čeličnih konstrukcija
- Otvoreno/zatvoreno, izlaganje požaru.

Ulazni podaci poput vrste čeličnih profila i detaljnog opisa omogućuju izračun  $A_p/V$  faktora, ključnog parametra za određivanje minimalne debljine materijala potrebnog za zaštitu od požara.  $A_p/V$  faktor predstavlja omjer površine poprečnog presjeka profila i površine profila po kvadratnom metru (Slika 9.).

Područje izloženo vatri ( $A_p$ ) određuje se kao višekratnik unutarnjeg opsega mjera zaštite od požara ( $U$ ) i duljine jedinice ( $L$ ). Faktor se izračunava ovisno o konfiguraciji sustava zaštite od požara. Volumen odjeljka ( $V$ ) je višekratnik površine poprečnog presjeka ( $A_{cs}$ ) i duljine jedinice ( $L$ ). [22]

U slučaju kutijaste obloge (Slika 10.), faktor  $U$  se izračunava kao zbroj bočnih dužina savršenog pravokutnika opisanog oko čeličnog dijela. Kod profilirane zaštite,  $U$  je jednak površini sekcije po jedinici duljine ( $L$ ) (Slika 11.). [22]

Precizno određivanje  $A_p/V$  faktora omogućuje pravilno dimenzioniranje protupožarne zaštite, što je ključno za osiguranje sigurnosti i trajnosti čelične konstrukcije u slučaju požara.

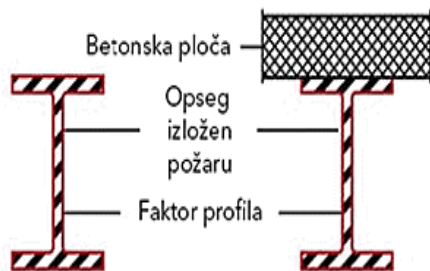
$$\frac{A_p}{V} = \frac{U \times L}{A_{cs} \times 10^{-6} \times L} = \frac{U}{A_{cs} \times 10^{-6}}$$

$A_p$  [m<sup>2</sup>],  $V$  [m<sup>3</sup>],  $A_p/V$  [m<sup>-1</sup>],  $U$  [m],  $L$  [m],  $A_{cs}$  [mm<sup>2</sup>]

Slika 9 Izračun za sekciju dužine L [22]

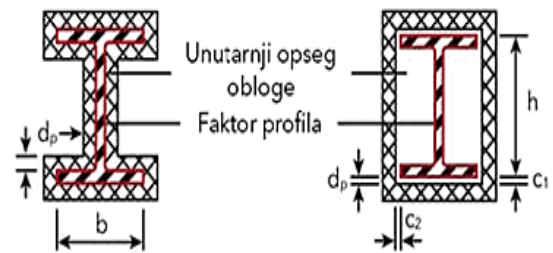
### Faktor profila za profile bez obloge

Faktor profila :  $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{Opseg izložen požaru}}{\text{Faktor profila}}$

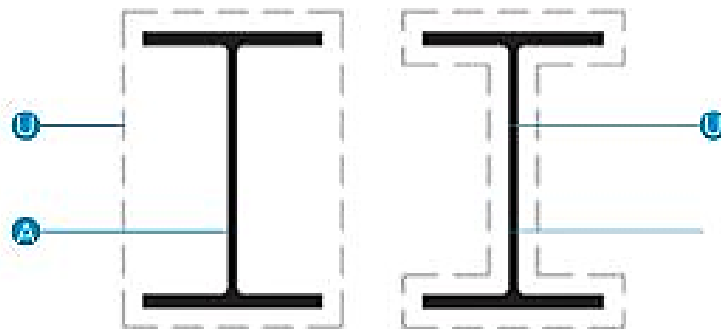


### Faktor profila za profile s oblogom

Faktor profila :  $\frac{A_p}{V} = \frac{\text{Unutarnji opseg obloge}}{\text{Faktor profila}}$



Slika 10 Faktor profila za profile sa i bez podloge [22]







Slika 11 Kutijasti i profilirani oblik zaštite čelične grede [22]

Općenito, tanji čelični profili imaju veći faktor  $A_p/V$  u odnosu na masivnije profile za isti faktor  $U$ , dok masivniji profili imaju niži faktor presjeka  $A/V$ . To znači da će tanji profil postići kritičnu temperaturu u kraćem vremenu od masivnijeg profila u slučaju požara, što zahtijeva veću debljinu zaštitnog materijala kako bi se osigurala adekvatna zaštita.

Kada se uspoređuju konstrukcije zaštićene na dva načina (kutijasta i profilirana zaštita) i izložene vatri na dva načina (s 3 i 4 strane), primjećuju se značajne razlike u izračunatim vrijednostima faktora presjeka. Na primjer, profil HEA 200 može imati raspon faktora  $A_p/V$  od  $108 \text{ m}^{-1}$  do  $212 \text{ m}^{-1}$ , što jasno pokazuje kako različite metode zaštite i izloženosti vatri mogu rezultirati različitim zahtjevima za protupožarnom zaštitom (Slika 12.). [22]

Ove informacije su od ključne važnosti prilikom planiranja i dimenzioniranja protupožarne zaštite kako bi se osigurala sigurnost i otpornost konstrukcije u slučaju požara.

					Section factor $A_p/V$ [ $\text{m}^{-1}$ ]			
					Profiled configuration		Boxed configuration	
								
					$(U - b) / A_{cs}$	$U / A_{cs}$	$(b + 2h) / A_{cs}$	$(2b + 2h) / A_{cs}$
HEA	h	b	U	$A_{cs}$	3 sides	4 sides	3 sides	4 sides
	m	m	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$\text{mm}^2$	$\text{m}^{-1}$	$\text{m}^{-1}$	$\text{m}^{-1}$	$\text{m}^{-1}$
160	0,152	0,160	0,906	3880	192	234	120	161
180	0,171	0,180	1,020	4530	185	225	115	155
200	0,190	0,200	1,140	5380	175	212	108	145

Slika 12 Usporedba faktora profila nosača [22]

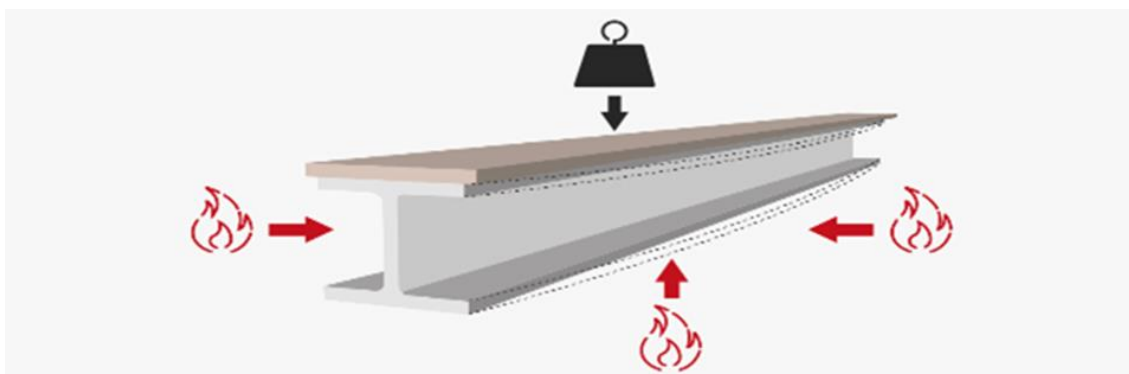
## 6.4. OTPORNOST NA POŽAR

Otpornost na požar je ključni faktor u sigurnosti zgrada, omogućujući kontrolu rasta i širenja požara te osiguravajući siguran put za evakuaciju stanara i pristup vatrogascima za gašenje požara.

Rezultati ispitivanja otpornosti na požar mjere se u vremenskim intervalima, poput 30 ili 60 minuta, a svojstvo se ocjenjuje kao nosivo ili nenosivo. Nenosiva rješenja se klasificiraju prema ispitivanju cjelovitosti (E) i toplinske izolacije (I), dok se nosiva rješenja ocjenjuju prema ispitivanju nosivosti (R). [25]

Nenosiva rješenja će imati rezultat označen kao EI, što označava vremenski interval, dok će nosiva rješenja imati oznaku REI. Bitno je napomenuti da čak i ako nenosivo rješenje ima 60 minuta otpornosti na požar (označeno kao EI60), to ne znači nužno da će isto rješenje imati nosivost od 60 minuta (REI60) [25].

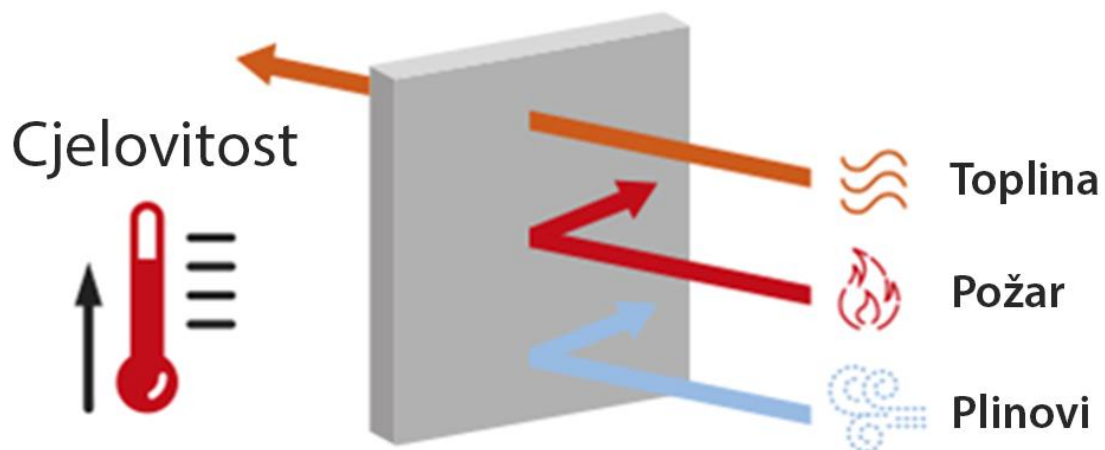
Nosivost (R) (Slika 13.) predstavlja sposobnost rješenja da izdrži navedena mehanička opterećenja dok je izloženo požaru bez gubitka stabilnosti konstrukcije. Kriteriji koji se primjenjuju za određivanje gubitka stabilnosti uključuju stopu deformacije, pri čemu se definira maksimalna granica stvarne deformacije koja se tolerira pri izlaganju požaru. Ova mjera omogućuje procjenu koliko dugo će konstrukcija zadržati svoju stabilnost pod utjecajem požara pri određenim uvjetima opterećenja.



Slika 13 Nosivost R [25]

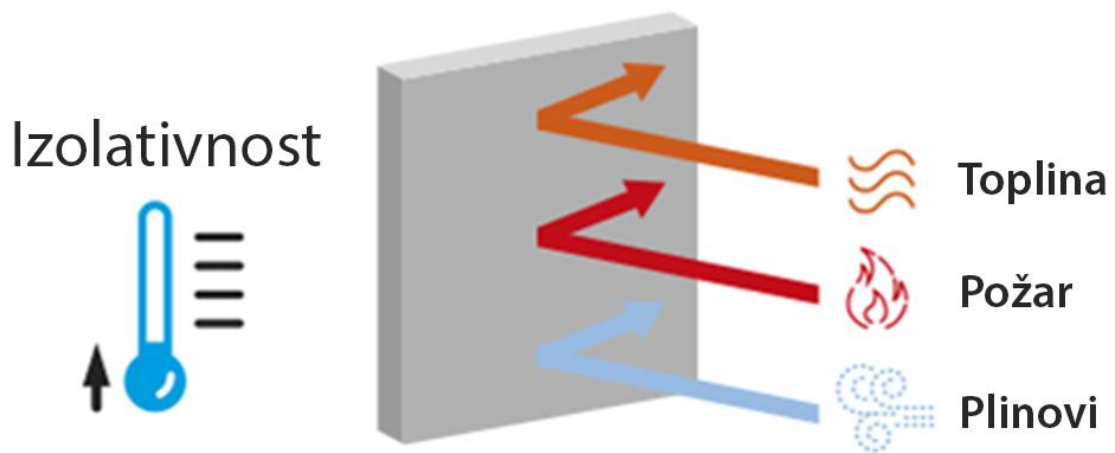
Cjelovitost (E) (Slika 14.) predstavlja sposobnost pregradnog rješenja da izdrži izloženost požaru s jedne strane bez širenja požara na neizloženu stranu. Ispitivanje cjelovitosti obuhvaća tri ključna aspekta [25]:

- Pukotine ili otvori koji nadilaze dane dimenzije: Ovaj aspekt ocjenjuje mogućnost pojave pukotina ili otvora na pregradnom rješenju tijekom izlaganja požaru. Važno je da dimenzije pukotina ili otvora ne prelaze određene granice kako bi se osiguralo da požar ne može proći na neizloženu stranu.
- Zapaljenje pamučne podloge na strani neizloženoj požaru: Ovaj aspekt testira otpornost pregradnog rješenja na zapaljenje materijala na neizloženoj strani požara. Cilj je spriječiti širenje požara kroz pregradu.
- Kontinuirani plamen koji prolazi na neizloženu stranu: Ovaj aspekt ocjenjuje mogućnost da plamen prođe kroz pregradno rješenje s izložene na neizloženu stranu tijekom požara. Cilj je osigurati da pregrada zadrži svoju integritet i spriječi širenje požara na neizloženu stranu.



Slika 14 Cjelovitost E [25]

Izolativnost (I) odnosno toplinska izolativnost, predstavlja sposobnost rješenja da ograniči podizanje temperature na neizloženoj strani ispod određenih razina (Slika 15.). Ovaj aspekt osigurava da temperatura na neizloženoj strani ili susjednim materijalima ostane ispod kritičnih vrijednosti, čime se sprječava mogućnost zapaljenja neizloženog dijela ili obližnjih materijala uslijed požara. Očuvanje niske temperature na neizloženoj strani ključno je za očuvanje integriteta strukture i sprječavanje širenja požara na druga područja zgrade ili okolne prostorije. [24]



Slika 15 Izolativnost I [25]



## 7. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su ispitivanja na protupožarnim sustavima dvaju proizvođača premaza. Ispitani su protupožarni sustavi tvrtke Kansai Helios Croatia d.o.o. i Hempel d.o.o.

Ispitne ploče od nelegiranog čelika su ispitane u vlažnoj i slanoj komori, kao i pri atmosferskim uvjetima. Provedena su ispitivanja prionjivosti, tvrdoće, debljine kao i samog protupožarnog svojstva premaza.

Cilj ispitivanja je bio utvrditi protupožarnu zaštitu, kao i postojanost sustava na koroziju i korozivnu okolinu.

Ispitne pločice su podijeljene u 4 skupine:

1. Helios sustav debljine protupožarnog premaza 469,7 - 676,8  $\mu\text{m}$
2. Helios sustav debljine protupožarnog premaza 274,7 - 328,6  $\mu\text{m}$
3. Hempel sustav debljine protupožarnog premaza 583,4 - 782,1  $\mu\text{m}$
4. Hempel sustav debljine protupožarnog premaza 298,6 - 339,7  $\mu\text{m}$

Zbog jednostavnosti razlikovanja, kao i daljnje pisanja ovoga rada, premazi pod rednim brojem 1 i 2 skraćeno su označeni HEL60 i HEL30 (HEL – Helios, 30/60 – vrijeme protupožarnog ispitivanja), a premazi pod rednim brojem 3 i 4 HEM60 i HEM30 (HEM – Hempel, 30/60 – vrijeme protupožarnog ispitivanja).

Priprema uzoraka i sva ispitivanja su provedena u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

## 7.1. PROTUPOŽARNI SUSTAVI

Protupožarni sustavi oba proizvođača su sačinjeni od temelja, međusloja (protupožarni premaz) i završnog sloja.

### 7.1.1. Helios protupožarni sustav

#### Temelj - Remoplast MSR ultraprimer

- 2-komponentni epoksi temelj sa visokim sadržajem suhe tvari. Sadrži cink fosfat. Brzo sušenje dugo radno vrijeme mješavine. Minimalna temperatura tijekom nanošenja 0 °C. Dobra prionjivost na čelik vruće cinčani čelik. Sadrži lamelarni MIOX (željezni oksid) i pigmente za maksimalnu barijernu zaštitu.

#### Međusloj - IC 11-00 Intumescent/IC 11-01 Intumescent (FD)

- IC 11-00 Intumescent i IC 11-01 Intumescent su jednokomponentni intumescentni (protupožarni) premazi za pasivnu protupožarnu zaštitu metalne konstrukcije.
- Osigurava do 120 minuta zaštite od celuloznog požara
- Može se nanositi na unutarnje i vanjske čelične konstrukcije s odgovarajućim odobrenim završnim premazom

#### Završni sloj - Remoplast UVC PL HS ES

- 2-komponentni poliuretanski jednoslojni / završni premaz na osnovi hidroksilne grupe, akrilne smole i alifatskog izocijanatnog otvrdnjivača. Sadrži antikorozivni i lamelarni pigment. Brzo suši. Odlična postojanost nijanse.

### 7.1.2. Hempel protupožarni sustav

#### Temelj – Hempadur 15570

- Hempadur 15570 dvokomponentni je epoksidni premaz koji otvrdnjava pomoću poliamidnog adukta. Otvrdnjavanjem prerasta u snažan i jako antikorozivan premaz, a otvrdnjavanje se odvija pri temperaturama sve do -10 °C.

#### Međusloj- Hempafire Pro 315 Fast Dry

- Hempafire Pro 315 Fast Dry je jednokomponentni, protupožarni premaz na bazi otapala koji se suši fizikalnim putem, namijenjen Za pasivnu zaštitu od požara konstrukcijskog čelika uzrokovanog sagorijevanjem tvari na bazi celuloze. Optimiziran je za R30, R60 te za nanošenje u radionici i na licu mjesta. Zaštita od požara na R90 može biti moguća, ovisno o projektu.

#### Završni sloj – Hempthane Fast Dry 55750

- Hempthane Fast Dry 55750 je 2-komponentna poliuretanska boja.
- Otvrdnjava alifatskim izocijanatima. Dobra postojanost sjaja - stabilnost boje. Sadrži cinkov fosfat.

## 7.2. PRIPREMA UZORAKA

Ispitne pločice koje su korištene za istraživanje pripremljene su prema normi HRN EN ISO 12944-4 (Slika 16). Ove pločice su izrađene od nelegiranog čelika dimenzija 100 mm x 50 mm x 5 mm i podvrgnute su pjeskarenju s obje strane do stupnja čistoće Sa 2.5 prema normi HRN EN ISO 8501-1.

Pjeskarenjem pločica postiže se određena vrijednost površinske hrapavosti, koja je ključna za pravilno procjenjivanje potrošnje materijala za premazivanje. Važno je uzeti u obzir koliko će premaz "popuniti" tu hrapavost kako bi se osigurala željena debljina premaza na pločici. Za mjerenje hrapavosti površine koristi se električni prijenosni uređaj "Elcometer 224" (Slika 17), koji spada u kategoriju uređaja s ticalom. Rezultat se uzima kao trostruko manji od izmjerene vrijednosti kako bi se dobio "mrtvi volumen", koji je relevantan za potrošnju premaza (Tablica 1.).



Slika 16 Ispitna pločica



Slika 17 ELCOMETER 224

Tablica 1 Hrapavost površine

Hrapavost površine u $\mu\text{m}$			
	minimum	maksimum	prosječno
Ispitna pločica	52	84	60,5

### 7.3. NANOŠENJE TEMELJNOG PREMAZA

Uzorci su podijeljeni u 4 skupine. Na prve dvije skupine uzoraka nanijet je Remoplast MSR ultraprimer, a na druge dvije Hempadur 15570. Oba temeljna premaza su epoksi premaza s malim udjelom HOS.

#### *7.3.1. Priprema temeljnog premaza*

##### HELIOS

Kod priprave premaza pomiješane su obje komponente (Slika 18.), Remoplast MSR ultraprimer (baza) i Remoplast speed hardener (kontakt), u težinskom omjeru 10:1 (Slika 19.). Miješanje je provedeno strojno na mješaču. Radno vrijeme premaza je 4 sata. Boja nakon miješanja odgovara crvenoj smeđoj boji proizvođača.

##### HEMPEL

Pomiješane su komponente Hempadur 15570 (baza) i Hempadur 95570 (kontakt) (Slika 20.) u volumnom omjeru 3:1 (Slika 21.). Miješanje se odvijalo strojno na mješaču. Radno vrijeme premaza je 2 sata. Boja nakon miješanja odgovara metalno sivoj boji proizvođača.





Slika 18 Komponente Helios temelja



Slika 19 Miješanje Helios komponenti



Slika 20 Komponente Hempel temelja



Slika 21 Miješanje Hempel komponenti

### 7.3.2. Oprema za nanošenje temeljnog premaza

Temeljni premazi oba proizvođača su nanoseni uz pomoć aplikatora od 200  $\mu\text{m}$  prema uputama proizvođača. Aplikator smo koristili kako bi ravnomjerno nanijeli premaz na ispitnu površinu.

### 7.3.3. Nanošenje temeljnog premaza

Premaz je nanijet ručno uz pomoć aplikatora od 200  $\mu\text{m}$ . Dvokomponentni Remoplast MSR ultraprimer ima 80% suhe tvari, zbog čega je njegova debljina nakon sušenja u intervalu od 80-180  $\mu\text{m}$  prema uputa proizvođača (Slika 22.). Na isti smo način nanijeli (Slika 23.) Hempadur 15570 premaz koji ima 54% suhe tvari, a proizvođač preporuča debljinu od 100  $\mu\text{m}$ .



Slika 22 Nanošenje Helios temeljnog premaza



Slika 23 Nanošenje Hempel temeljnog premaza



#### 7.3.4. Sušenje temeljnih premaza

Nakon nanošenja temeljnih premaza, ispitne pločice su ostavljene 24 h na sušenju pri sobnoj temperaturi (Slika 24. i 25.).



Slika 24 Sušenje Helios temeljnog premaza



Slika 25 Sušenje Hempel temeljnog premaza



## 7.4. NANOŠENJE PROTUPOŽARNIH PREMAZA

Uzorci su podijeljeni u 4 skupine. Na prve dvije skupine uzoraka nanijet je IC 11-00 Intumescent/IC 11-01 Intumescent (FD) od proizvođača premaza Helios, a na druge dvije Hempafire Pro 315 Fast Dry od proizvođača premaza Hempel. Oba protupožarna premaza su na bazi otapala.

Ovisno o minimalnoj debljini protupožarnog (međusloja) premaza, dobivamo minimalno vrijeme unutar kojega se čelik neće zagrijati na temperaturu iznad 550 °C.

30 minuta = 253 μm (255)

60 minuta = 554 μm (555)

90 minuta = 1397 μm (1400)

### 7.4.1. Priprema protupožarnog premaza

Protupožarni premazi (Slika 26. i Slika 27.) oba proizvođača su jednokomponentni. Prije nanošenja premazi su dobro promiješani kako mi se postigla unificirana masa.



Slika 26 Helios protupožarni premaz



Slika 27 Hempel protupožarni premaz

#### 7.4.2. Oprema za nanošenje protupožarnog premaza

Protupožarne premaze (međuslojeve) smo nanosili uz pomoć spiralnog aplikatora od 400  $\mu\text{m}$  mokrog filma boje (Slika 28.)



Slika 28 Spiralni aplikator od 400  $\mu\text{m}$

#### 7.4.3. Nanošenje protupožarnog premaza

Premaz je nanijet na 4 skupine pločica, na prve dvije skupine je nanijet IC 11-00 Intumescent/IC 11-01 Intumescent (FD) premaz (Slika 29.), a na druge dvije skupine Hempafire Pro 315 Fast Dry (Slika 30.). Na prvu skupinu od 7 pločica, u dva sloja je nanijet Heliosov premaz, a na drugu skupinu od 3 pločice jedan sloj. Isto je učinjeno s 3 i 4 skupinom koristeći Hempel. Cilj je bio dobiti 2 različite debljine, koje bi zadovoljavale minimalni uvjet debljine za ispitivanja protupožarstva na 30 i 60 minuta.

Važno je napomenuti poštivanje minimalnog međupremaznog intervala od 24 sata kako bi se mogao nanijeti drugi sloj premaza.



Slika 29 Helios protupožarni premaz uzorci



Slika 30 Hempel protupožarni premaz uzorci

## 7.5. NANOŠENJE ZAVRŠNOG PREMAZA

Na prve dvije skupine uzoraka nanesen je Remoplast UVC PL HS ES, a na druge dvije Hemplathane Fast Dry 55750. Završni premazi oba proizvođača su na bazi poliuretana.

### *7.5.1. Pripremanje završnog premaza*

#### HELIOS

Kod pripreme premaza su pomiješane obje komponente (Slika 31.), Remoplast UVC PL HS ES (baza) i PU-Härter 400 UVC (otvrdnjivač), u težinskom omjeru 10:1 (Slika 32.). Miješanje se odvijalo strojno na mješaču. Radno vrijeme premaza je 7 sati. Boja nakon miješanja odgovara tamno plavoj boji proizvođača.

#### HEMPEL

Pomiješane su komponente Hemplathane Fast Dry 55750 (baza) i Hemplathane 97050 (otvrdnjivač) (Slika 33.) u volumnom omjeru 9.1:0.9 (Slika 34.). Miješanje se odvijalo strojno na mješaču. Radno vrijeme premaza je 4 sata. Boja nakon miješanja odgovara svijetlo sivoj boji proizvođača.





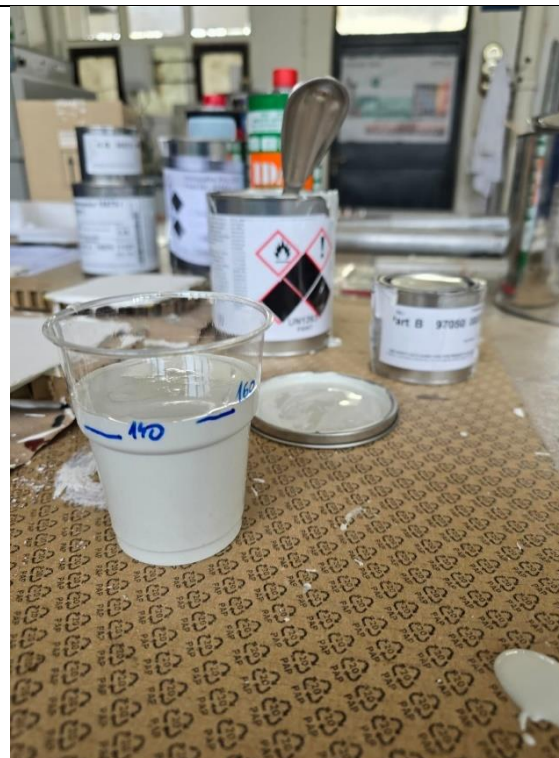
Slika 31 Komponente Helios završnog premaza



Slika 32 Mješanje Helios završnog premaza



Slika 33 Komponente Hempel završnog premaza



Slika 34 Miješanje Hempel završnog premaza

### 7.5.2. Oprema za nanošenje završnog premaza

Završni premazi su nanoseni pomoću spiralnog aplikatora od 100 µm mokrog filma boje (Slika 35.).



Slika 35 Spiralni aplikator od 100 µm

### 7.5.3. Nanošenje završnog premaza

Premaz je ručno nanesen uz pomoć aplikatora od 100 µm. Dvokomponentni Remoplast UVC PL HS ES premaz ima 69% suhe tvari (Slika 36.). Na isti je način nanesen (Slika 37.) Hempadur 15570 premaz koji ima 65% suhe tvari. Preporučena debljina za Helios je 85-150, odnosno 100 µm za Hempel. Kako bi postigli zadane debljine, svi premazi su nanoseni aplikatorom u dva sloja.

Važno je napomenuti kako su se uzorci sušili 24 sata između prvog i drugog sloja premaza.





Slika 36 Helios završni premaz



Slika 37 Hempel završni premaz

## 7.6. ISPITIVANJE DEBLJINE PREMAZA

Slike 38., 39., 40., 41. prikazuju sve četiri skupine uzoraka nakon sušenja. Uzorci se označuju kao što je prikazano u Tablici 2. radi lakšeg praćenja rezultata ispitivanja. Ispitivanja su provedena u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.



Slika 38 Sustav premaza HEL60



Slika 39 Sustav premaza HEM60



Slika 40 Sustav premaza HEL30



Slika 41 Sustav premaza HEM30



Tablica 2 Oznake ispitnih uzoraka

Oznaka	Broj pločica	Grupa
H 1-7	7	HEL60
1-7	3	HEM60
D 1-3	7	HEL30
B 1-3	2	HEM30

### 7.6.1. Ispitivanje debljine uzoraka uređajem Elcometer 456

Za ispitivanje suhog filma korišten je uređaj Elcometer 456 koji je sastavni dio svakog inspektorskog seta (Slika 42.). Elcometer 456 je potrebno umjeriti prije svakog ispitivanja na referentnu debljinu kako bi očitavanja bila što preciznija. Mjerenje se obavlja pomoću sonde putem magnetske metode (Slika 43.). Ova metoda temelji se na mjerenju privlačnih sila između magnetne metalne podloge i permanentnog magneta unutar sonde. Te sile su obrnuto proporcionalne udaljenosti između njih [26]. Na svakom uzorku provedeno je deset mjerenja, a rezultati su prikazani u Tablicama 3.



Slika 42 Inspektorski set



Slika 43 Mjerenje pomoću uređaja Elcometer 456

Tablica 3 Izmjerene debljine svih slojeva u  $\mu\text{m}$ 

NAZIV PLOČICE	TEMELJ			PROTUPOŽARNI			ZAVRŠNI		
	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$	min	max
H1	81,14	61,5	112	530,7	416	574	692,4	622	772
H2	86,5	79,9	107	558,1	483	647	675,5	623	733
H3	106,7	64,9	149	509,6	462	595	620,3	598	653
H4	80,43	62,1	116	469,7	410	586	616,2	596	653
H5	75,38	59,5	103	676,8	600	746	760,9	695	838
H6	81,6	67,8	98,5	555,2	440	615	679,8	599	768
H7	84,83	56	117	555,6	503	604	631,8	600	667
1	88,85	67,4	107	711,6	643	799	883,6	793	1093
2	111	77	128	767,7	648	933	878,5	820	960
3	94,17	63,8	118	782,1	624	942	915	825	993
4	131,6	107	151	750,3	644	859	930,9	832	1055
5	89,08	62,2	106	696,8	571	849	851,5	838	1067
6	89,75	66	119	583,4	467	752	735,2	683	880
7	108,5	51,5	148	652,4	623	711	806,5	728	907
D1	94,29	72,8	125	302,2	260	335	434,9	384	490
D2	84,72	63,1	99,6	328,6	287	370	426,4	373	470
D3	66,4	60	76,4	274,7	225	379	354,4	318	412
B1	98,78	55,4	119	339,7	244	520	458,7	364	498
B2	130	103	169	323,4	203	465	440,9	392	506
B3	116	98,3	126	298,6	209	353	425,2	381	466

## 7.7. ISPITIVANJE U SLANOJ KOMORI

Ispitivanje u slanoj komori (Slika 44.) predstavlja ubrzani test korozije, gdje se uzorak izlaže fino raspršenoj otopini natrijeva klorida (obično 5 %) pri temperaturi od 35 °C. Ova metoda se koristi za testiranje zaštitnih premaza te za ispitivanje utjecaja soli na materijale i električne uređaje. Laboratorijsko ispitivanje provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, prema normi HRN EN ISO 9227. Ispitivani su uzorci označeni kao H2-H7; 1-4; D1;B1 (Slika 45.). Ti uzorci su podvrgnuti metodi NSS (Neutral Salt Spray), gdje se 5%-tna otopina natrijeva klorida, pH vrijednosti od 6,5 do 7,2, raspršuje pod kontroliranim uvjetima tijekom 240 sati. Testirana je otpornost na korozijske uvjete C3-M prema normi HRN EN ISO 12944-6.



Slika 44 Slana komora



Slika 45 Uzorci u slanoj komori

### 7.7.1. Ispitivanje korozije oko zarez

Za provođenje ispitivanja oko zarez korišten je nož s oštricom debljine 2 mm (Slika 46.) kojom se radi zarez na ispitnim pločicama prema normi HRN EN ISO 7253.

Potrebno je da svaki zarez bude što ravniji, kao i da prođe kroz sve slojeve sustava kako bi izložio podlogu korozivnom djelovanju.

Nakon izlaganja premazanih ispitnih pločica unutar korozivnih uvjeta, oko zarez je moguće ocijeniti pojavu raslojavanja i korozije.

Slike 47.-52. prikazuje uzorke s urezanim zarezima prije ispitivanja u slanoj komori.

Za ocjenu je korištena norma HRN EN ISO 4628-8 koja propisuje način na koji se određuje stupanj raslojavanja i korozije oko zarez (Slika 45).

U ispitivanju je korišten rezni nož debljine  $w = 2$  mm, a duž cijelog zarez je povučeno 9 okomitih linija s jednakim odstupanjem kako bi se izmjerila širina korozije  $w_c$ .

Stupanj korozije  $c$  se računa pomoću formule [27]:  $c = \frac{w_c - w}{2}$

$c$  - stupanj korozije u mm

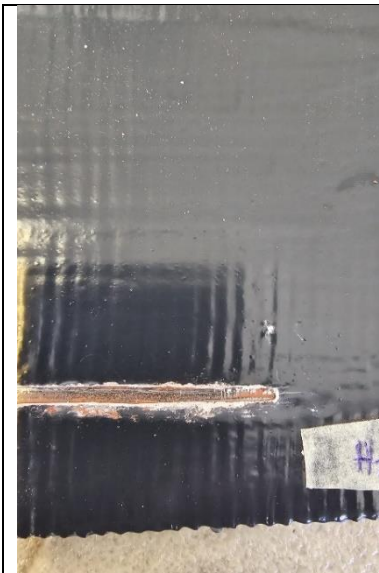
$w_c$  - srednja ukupna širina zone korozije u mm

$w$  – širina zarez u mm



Slika 46 Nož za urezivanje





Slika 47 Uzorak H2 prije slane komore



Slika 48 Uzorak H7 prije slane komore



Slika 49 Uzorak D1 prije slane komore



Slika 50 Uzorak 1 prije slane komore

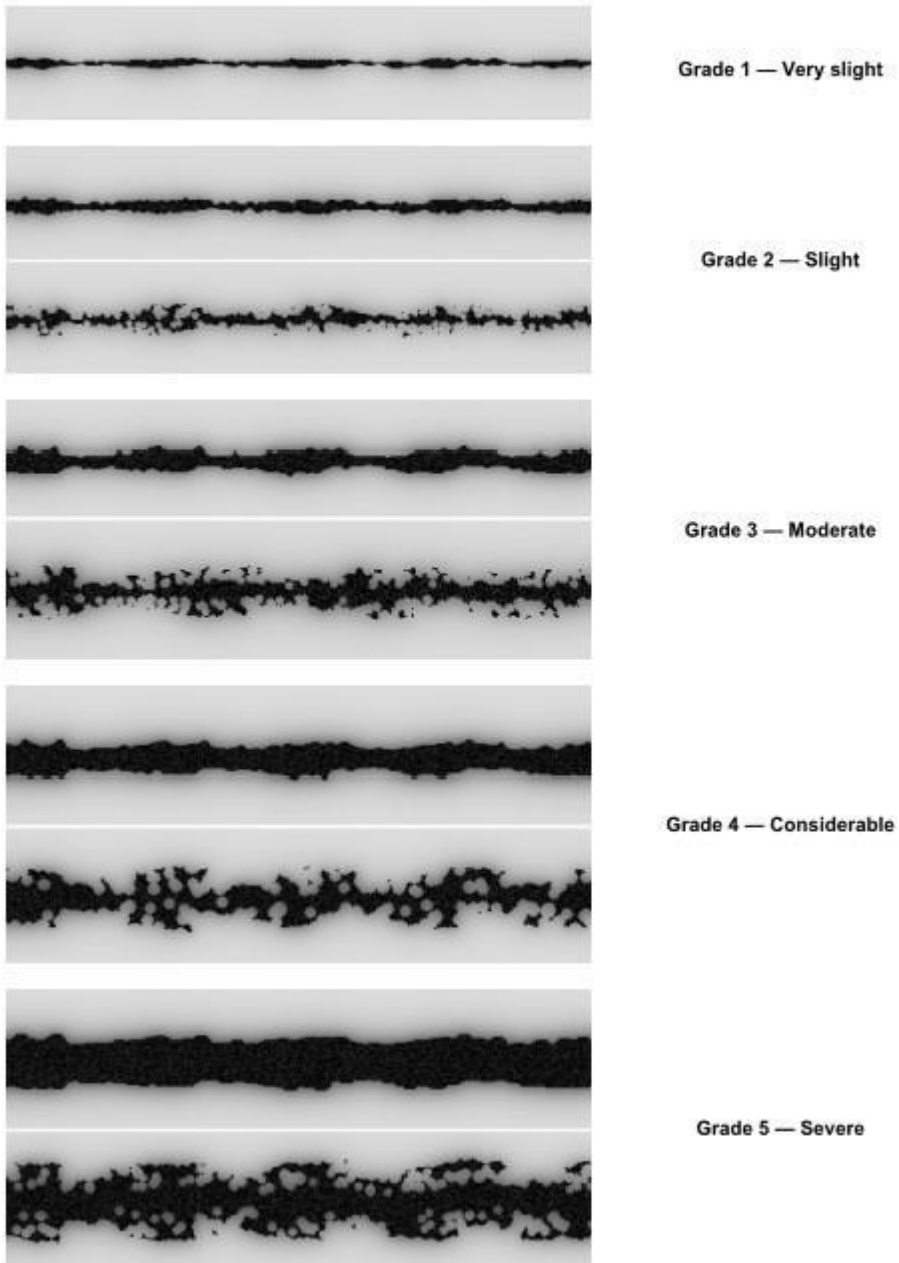


Slika 51 Uzorak 4 prije slane komore



Slika 52 Uzorak B1 prije slane komore

ISO 4628-8:2005(E)



Slika 53 Stupanj korozije oko ureza prema normi HRN EN ISO 4628-8 [27]

### 7.7.2. Rezultati ispitivanja korozije oko zareza

Nakon provedenih 240 h u slanoj komori prema C3-M uvjetima i norme HRN EN ISO 12944-6, na ispitnim uzorcima se nisu očitavale nikakve veće promjene. Slike 54.-57. prikazuju uzorke i c - stupanj korozije u mm nakon 240 h slane komore.



Slika 54 Pločica H7 nakon slane komore



Slika 55 Pločica I nakon slane komore



Slika 56 Pločica D1 nakon slane komore



Slika 57 Pločica B1 nakon slane komore

### 7.7.3. Rezultati ispitivanja u slanoj komori

Uz ispitivanje stupnja korozije zarez, potrebno je provesti i dodatne, vizualne procjene rezultata nakon ispitivanja unutar slane komore. Rezultati ispitivanja prikazani u Tablica 4. se odnosi na:

- Ispitivanje korozije oko ureza prema HRN EN ISO 4628-8
- Ispitivanje pucanja premaza prema HRN EN ISO 4628-4
- Ispitivanje stupnja mjehuranja prema HRN EN ISO 4628-2 (Slika 50.).

Tablica 4 Rezultati ispitivanja nakon 240 h slane komore.

OZNAKA	HRN EN ISO 4628-4 Pucanje	HRN EN ISO 4628-2 Mjehuranje	HRN EN ISO 4628-8 Korozija oko ureza	HRN EN ISO 7253 Izmjerena širina korozije oko ureza (mm)
H2	0 (S0)	0 (S0)	Nije ispitan	Nije ispitan
H7	0 (S0)	0 (S0)	Ocjena 1	0,09
D1	0 (S0)	0 (S0)	Ocjena 1	0,055
1	0 (S0)	3 (S3)	Ocjena 1	0,09
4	0 (S0)	2 (S3)	Nije ispitan	Nije ispitan
B1	0 (S0)	2 (S5)	Ocjena 1	0,065



ISO 4628-2:2003(E)



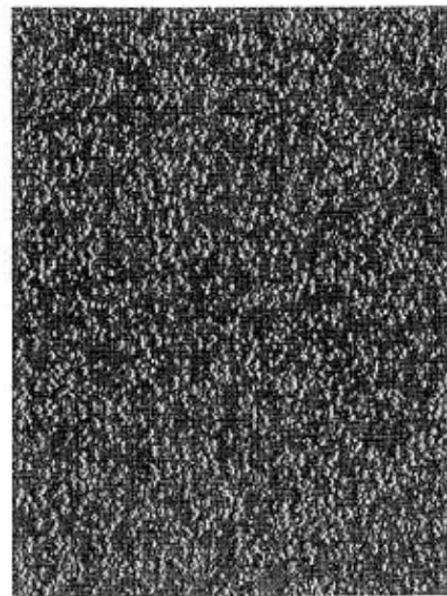
a) Quantity (density) 2 — 2(S3)



b) Quantity (density) 3 — 3(S3)



c) Quantity (density) 4 — 4(S3)



d) Quantity (density) 5 — 5(S3)

Figure 2 — Blisters of size 3

Slika 58 Stupanj mjehuranja premaza prema normi HRN EN ISO 4628-2 [28]

## 7.8. ISPITIVANJE U VLAŽNOJ KOMORI

Vlažna komora (Slika 59.) je uređaj koji služi za ispitivanje reakcije premaza na promjene vlažnosti. Ova vrsta ispitivanja okoliša koristi se kako bi se testirali premazi pod ekstremnim uvjetima visoke vlage i temperature. Postoje različite metode unošenja vlage u komoru, poput raspršivanja ili potapanja. Ispitivanje se provodi prema normi HRN EN ISO 6270 pri temperaturi od 40 °C uz relativnu vlažnost zraka od 100%. Analizira se otpornost na korozijske uvjete C3-M. Uzorci su izloženi 120 sati u vlažnoj komori (Slika 60.).

Ispitani su uzorci označeni kao H4-H6; 5-7; D2;B2. Slika 61.-66. prikazuju izgled uzoraka nakon 120 sati ispitivanja u vlažnoj komori.



Slika 59 Vlažna komora



Slika 60 Uzorci u vlažnoj komori



Slika 61 Pločica H4 nakon vlažne komore



Slika 62 Pločica H6 nakon vlažne komore



Slika 63 Pločica D2 nakon vlažne komore



Slika 64 Pločica 5 nakon vlažne komore



Slika 65 Pločica 7 nakon vlažne komore



Slika 66 Pločica B2 nakon vlažne komore



### 7.8.1. Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori

Nakon 120 sati ispitivanja u vlažnoj komori potrebno je provesti vizualnu procjenu propadanja premaza. Rezultati ispitivanja prikazani u Tablici 5. se odnose na:

- Ocjenu stupnja korozije prema HRN EN ISO 4628-3
- Ocjenu stupnja pucanja premaza prema HRN EN ISO 4628-4
- Ocjenu stupnja mjehuranja prema HRN EN ISO 4628-2.

Tablica 5 Rezultati ispitivanja nakon 120 h vlažne komore

<b>OZNAKA</b>	<b>HRN EN ISO 4628-4 Pucanje</b>	<b>HRN EN ISO 4628-2 Mjehuranje</b>	<b>HRN EN ISO 4628-3 Korozija</b>
H4	0 (S0)	0 (S0)	Ri (0)
H6	0 (S0)	0 (S0)	Ri (0)
D2	0 (S0)	2 (S3)	Ri (0)
5	0 (S0)	2 (S5)	Ri (0)
7	0 (S0)	3 (S3)	Ri (0)
B2	0 (S0)	3 (S3)	Ri (0)

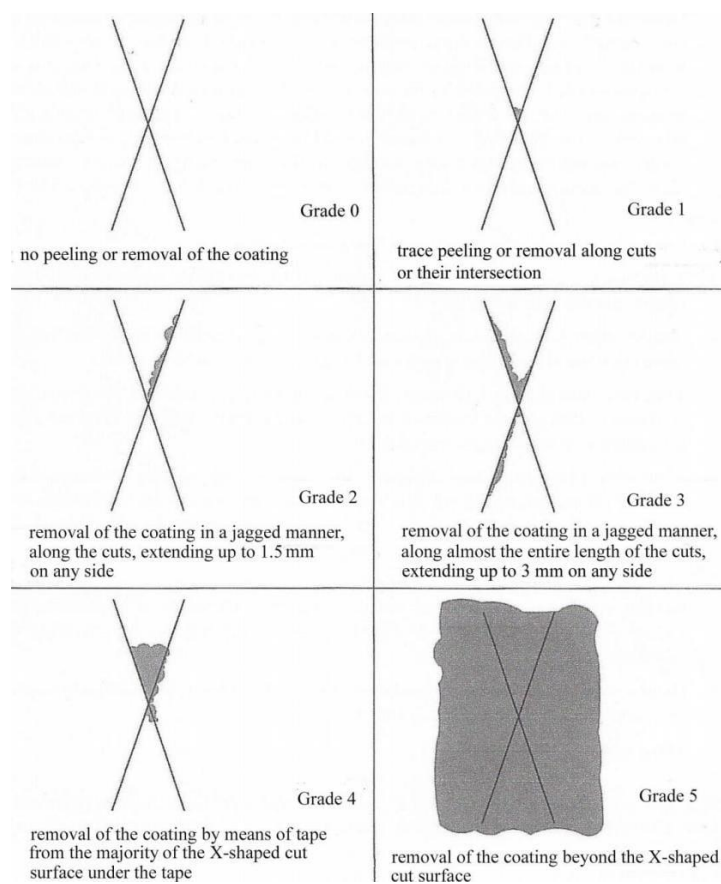
## 7.9. ISPITIVANJE PRIONJIVOSTI

Ispitivanje prionjivosti često se koristi kako bi utvrdili kvalitetu prianjanja premaza na ispitnu podlogu. Postoji nekoliko različitih testova za mjerenje prionjivosti premaza s podlogom, a provedeni su:

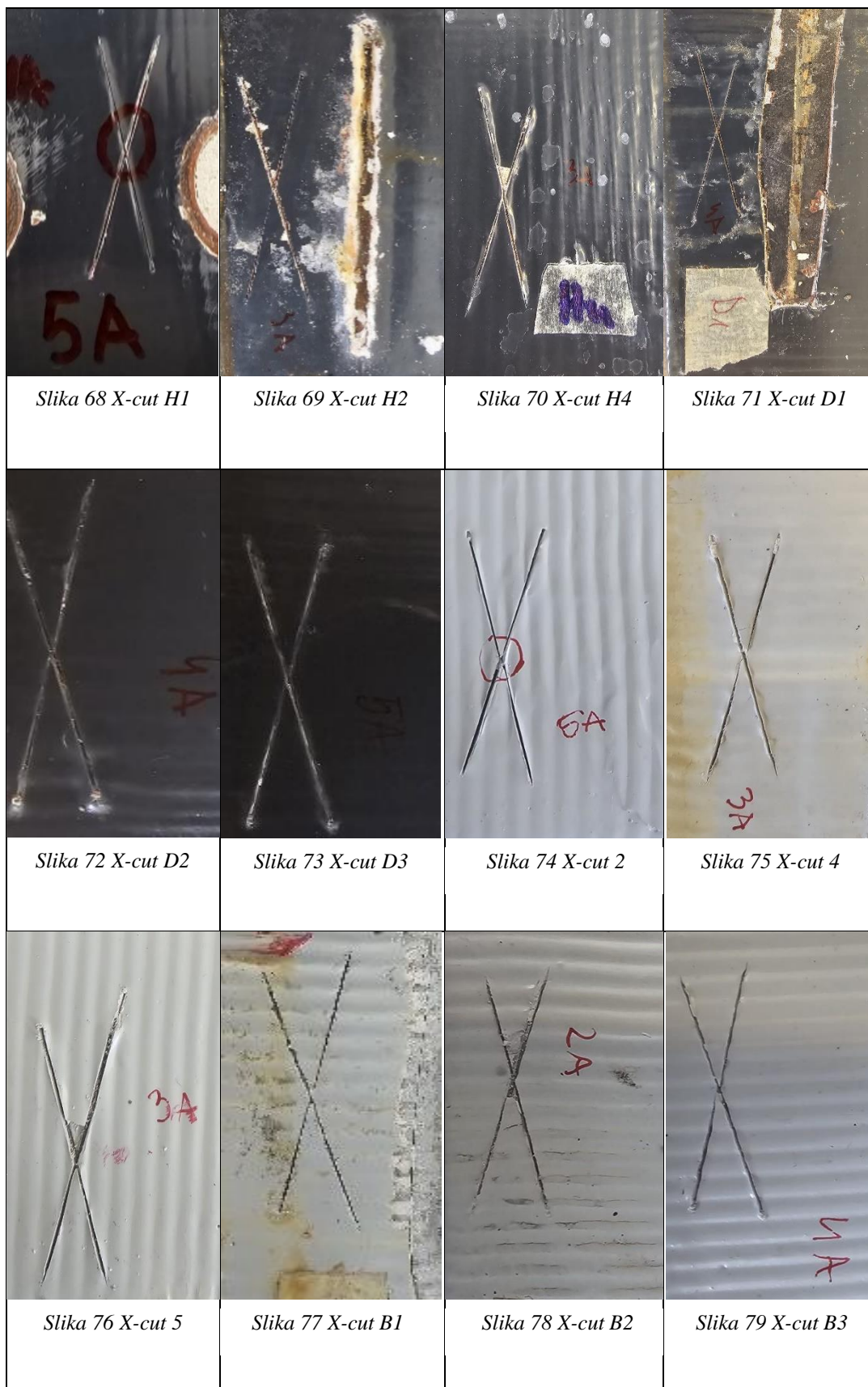
- Ispitivanje zarezivanjem X-znaka, tzv. X-cut test prema HRN EN ISO 16276
- Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom, tzv. Pull-off test prema HRN EN ISO 4624.

### 7.9.1. X-cut ispitivanje

Rez u obliku slova X izvodi se kroz premaz, uz pomoć alata od tvrdog metala, sve do podloge. Preko reza se nanosi traka, a zatim se glača olovkom preko područja reza radi zaglađivanja. Traka se nakon toga uklanja brzim povlačenjem pod kutom od 60°. Adhezija se ocjenjuje na skali od 0 (najbolja ocjena) do 5 (najlošija ocjena) (Slika 67.). Slika 68.-79. prikazuju rezultate X-cut testiranja.



Slika 67 X-cut ocjena prema normi HRN EN ISO 16276-2 [29]



### 7.9.2. Pull-off ispitivanje

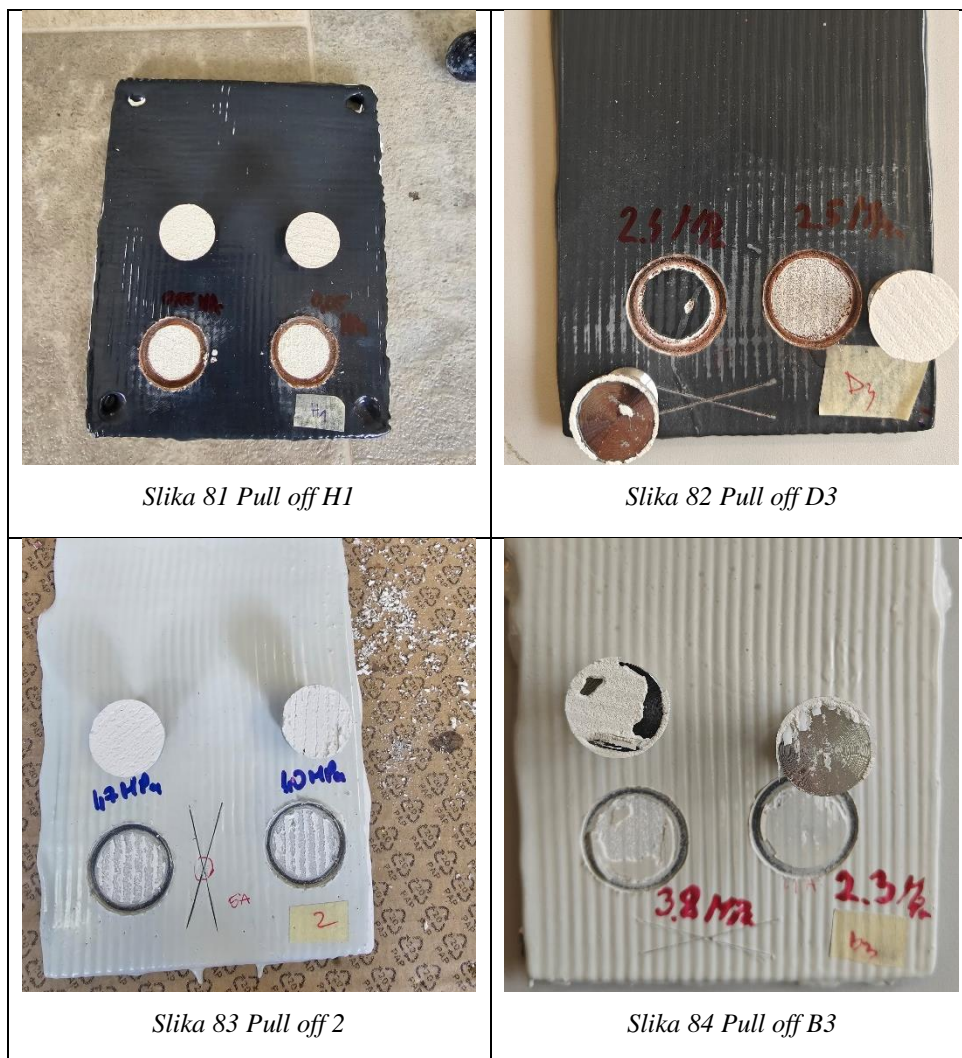
Mjeri se vlačna čvrstoća potrebna za odvajanje ili pucanje premaza okomito na podlogu. Ispitivanje se provodi postavljanjem ispitnog valjka ljepljivom tako da je okomito na površinu premaza. Zatim se uređaj za ispitivanje pričvršćuje za ispitni valjak kako bi se primijenila sila okomito na ispitnu površinu. Sila se postupno povećava i prati sve dok se ispitni valjak ne odvoji od premaza ili dok se ne postigne prethodno određena vrijednost. Uređaj za ispitivanje je Elcometer 406 (Slika 80.), Slike 81.-84. prikazuju rezultate ispitivanja.

Budući da je protupožarni premaz pjenaste strukture, kod ispitivanja je došlo očekivano do pucanja u sloju protupožarnog premaza, a izmjerene vrijednosti su relativno male. Stoga, nisu rađena Pull-off ispitivanja na uzorcima nakon vlažne i slane komore .

Rezultati su prikazani u Tablici 6.



Slika 80 Pull-off uređaj Elcometer 406



Tablica 6 Rezultati Pull off ispitivanja u MPa

UZORCI	H1	D3	2	B3
TEST 1	0,05	2,30	1,70	3,80
TEST 2	0,05	2,5	1	2,3



## 7.10. ISPITIVANJE TVRDOĆE SHORE D METODOM

Ispitivanje tvrdoće Shore D metodom (Slika 85.) se provodi prema metodi HRN EN ISO 7619-1. Sonda uređaja PosiTector 6000 prislanja se na površinu uzorka, a vrijednost se prikazuje na zaslonu u rasponu od 0 do 100. Ispitivanje je obavljeno na 10 mjernih točaka na svakom uzorku, a rezultati su prikazani u Tablica 7. Numeričke vrijednosti prikazane u tablici su aritmetičke sredine izmjerene tvrdoće.

Tablica 7 Rezultati tvrdoće prema Shore D metodi

UZORAK	ATMOSFERSKI UVIJETI	VLAŽNA KOMORA	SLANA KOMORA
HEL60	63,8	66,8	62,3
HEM60	53	57	50,3
HEL30	77,7	74	73,9
HEM30	72,7	70,7	71,8



Slika 85 PosiTector 6000

## 7.11. ISPITIVANJE PROTUPOŽARNOSTI

Ispitivanje protupožarnosti provedeno je kako bi se procijenila protupožarna svojstva premaza prije i nakon izlaganja uzoraka umjetnoj atmosferi u slanoj i vlažnoj komori. Cilj je utvrditi hoće li izloženost uvjetima u komorama negativno utjecati na protupožarna svojstva premaza. Uzorci su izloženi otvorenom plamenu, pri čemu se temperatura ispitne ploče mjeri svaku minutu sve dok ne zadovolji uvjete klase otpornosti na protupožarnost. Nakon izlaganja plamenu, mjeri se ekspanzija premaza te se na temelju toga ocjenjuje. Ispitni uzorci su izloženi dva različita izvora plamena:

- Ručnom plameniku pri vanjskim uvjetima na otvorenom
- Plameniku za plinsko zavarivanje pri kontroliranim uvjetima.

### 7.11.1. Ispitivanje protupožarnosti s ručnim plamenikom

Protupožarno ispitivanje s ručnim plamenikom rađeno je ispred Laboratorija za zaštitu materijala. Kako bi se smanjio gubitak topline i utjecaj vjetra na plamen, od cigli je napravljena ispitna zona, koja služi kao izolator vjetra. Ručni plamenik i ispitna zona su prikazani na Slika 86., a proces mjerenja na Slika 87.



Slika 86 Ručni plamenik i ispitna zona



Slika 87 Mjerenje temperature uzorka sa stražnje strane ispitne pločice

Temperature uzorka ispitivanih ručnim plamenikom se nalaze u Tablica 8. i Tablica 9., osim uzorka s protupožarnim sustavom zagrijavana je i „prazna“ čelična pločica čiji podaci služe kao referentna linija za temperature zagrijavanja. Ispitivanje protupožarnih svojstava uzorka H5 je prikazano na Slici 88.



Slika 88 Paljenje uzorka H5

Tablica 8 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom do 30 min

TEMPERATURE PALJENJA RUČNI PLAMENIK									
VRIJEME	H3-AT	H5-AT	H6-VL	H7-SL	PRAZNA	1-SL	3-AT	6-AT	7-VL
0	21,7	32,0	22,9	21,8	50,0	28,4	32,0	16,5	16,1
1	91,6	136,0	103,3	115,9	130,6	108,4	96,0	70,6	92,8
2	121,8	146,4	119,0	144,5	186,8	140,6	157,4	82,9	93,7
3	176,7	157,6	123,4	150,9	230,2	147,8	144,1	88,3	95,5
4	181,6	159,4	121,6	175,0	253,2	156,5	130,8	90,5	98,1
5	185,3	164,6	112,7	176,6	234,6	154,2	127,3	108,9	98,4
6	191,6	162,1	108,1	179,4	250,1	155,5	117,3	116,7	100,0
7	159,6	161,6	103,7	182,2	244,5	152,2	112,3	119,7	100,1
8	143,3	164,4	104,3	183,4	246,9	148,2	95,9	125,1	102,5
9	150,6	161,5	103,5	185,3	240,8	145,4	85,8	108,4	103,2
10	134,2	160,7	102,4	185,6	247,2	145,3	80,0	105,6	104,3
11	132,9	160,6	89,2	177,8	251,9	144,9	75,3	100,2	105,0
12	120,7	155,9	87,0	163,1	262,4	131,1	68,0	102,2	95,6
13	108,8	151,9	86,3	158,9	263,5	121,8	62,6	98,6	87,3
14	81,0	151,1	88,5	155,5	265,3	114,5	58,5	99,9	77,1
15	82,3	149,1	87,4	145,8	257,0	112,8	53,6	103,6	76,0
16	84,4	144,3	85,2	126,9	256,7	107,2	51,3	102,9	69,9
17	86,2	143,3	82,3	122,1	261,8	106,2	48,7	95,8	60,2
18	86,3	139,9	80,4	120,6	267,2	104,9	47,8	90,2	55,6
19	88,4	135,5	77,5	118,2	259,5	104,3	47,7	93,2	49,7
20	75,7	135,1	74,5	117,6	258,1	103,1	46,5	86,3	49,8
21	78,1	134,3	73,6	116,8	258,3	102,9	44,4	81,2	48,6
22	73,9	132,0	70,3	115,3	260,9	102,7	42,3	75,3	48,0
23	67,4	131,2	67,4	114,7	258,4	102,6	41,2	73,0	45,8
24	64,9	126,6	68,3	113,3	264,6	106,7	41,4	76,2	40,7
25	63,6	125,3	66,7	105,8	265,8	107,5	42,3	71,4	37,0
26	56,3	126,5	65,6	103,1	267,1	106,2	43,5	66,4	36,1
27	52,0	125,8	65,6	99,4	259,9	104,6	43,3	71,4	33,9
28	53,0	120,4	65,4	89,6	258,6	103,2	42,0	74,3	33,7
29	53,5	122,4	62,5	89,1	261,5	102,9	40,1	77,6	33,4
30	56,0	122,7	62,3	83,0	265,7	101,5	39,0	80,2	32,2

Tablica 9 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom od 30 min

TEMPERATURE PALJENJA RUČNI PLAMENIK									
VRIJEME	H3-AT	H5-AT	H6-VL	H7-SL	PRAZNA	1-SL	3-AT	6-AT	7-VL
31	53,8	122,1	68,1	77,3	268,5	100,7	39,8	82,9	32,1
32	54,1	121,5	72,1	76,7	265,6	99,8	42,1	82,2	31,6
33	56,4	118,4	76,9	75,8	259,3	97,4	42,5	82,5	31,3
34	59,9	117,6	79,2	73,8	260,1	95,9	41,6	80,8	32,2
35	59,6	117,1	78,0	71,1	267,8	95,3	41,0	76,9	35,4
36	60,9	116,8	72,1	73,3	262,4	98,2	40,8	72,7	39,6
37	60,0	113,1	70,1	74,2	265,2	99,2	41,2	72,2	44,6
38	54,1	113,0	66,7	74,9	258,7	98,1	41,6	71,0	49,3
39	60,2	111,3	61,1	75,3	266,9	97,2	42,0	68,6	53,1
40	56,8	104,1	57,3	73,6	260,2	95,9	42,3	64,7	53,9
41	60,4	103,9	59,4	71,6	266,7	94,8	41,5	60,6	53,5
42	57,1	105,1	62,1	72,8	260,5	93,2	40,7	62,9	53,3
43	60,0	104,3	62,2	70,3	259,2	94,1	40,0	60,3	56,9
44	58,7	106,4	66,2	66,7	266,1	94,7	39,1	55,3	58,4
45	55,0	104,6	69,1	69,6	265,4	95,1	38,6	50,1	58,6
46	57,7	106,7	68,5	69,8	267,9	93,2	38,2	47,0	55,3
47	52,3	110,0	63,8	69,2	262,3	93,8	37,6	47,6	55,4
48	51,0	107,8	59,8	68,4	267,4	93,1	37,5	45,6	57,6
49	50,8	107,1	53,5	68,8	259,8	92,8	39,2	42,6	67,4
50	50,9	106,2	52,2	70,2	259,6	92,6	41,7	41,4	68,3
51	53,4	107,4	53,9	69,7	266,3	93,1	44,6	39,8	71,1
52	52,5	109,3	54,0	69,2	259,4	93,8	46,6	37,2	88,2
53	53,2	105,0	56,6	68,8	265,5	93,2	48,2	36,9	88,1
54	53,6	104,5	56,3	69,1	264,9	92,8	50,0	33,5	93,5
55	55,8	107,6	55,4	69,3	261,6	92,6	51,8	32,7	101,0
56	56,7	107,2	55,8	69,7	259,7	92,1	52,2	32,6	84,1
57	61,1	111,9	56,1	70,1	266,4	92,7	52,6	32,3	85,6
58	63,0	112,9	56,3	69,8	264,7	93,2	52,2	32,5	85,0
59	66,7	113,6	55,9	69,2	266,5	93,1	52,1	32,4	85,4
60	65,4	114,1	55,7	69,4	260,8	92,8	52,5	32,3	85,3



## 7.11.1.1. Ispitivanje debljine pjene

Nakon mjerenja temperature premaza potrebno je izmjeriti debljinu nastale pjene (Slika 89.). Debljina nastale pjene se mjeri pomoću pomične mjerke, na način da se mjeri najdeblji dio sloja koji je bio najviše izložen plamenu. Na Slici 90. prikazane su pločice nakon paljenja koje su bile izložene atmosferskim uvjetima, te ispitane u vlažnoj i slanoj komori. U Tablica 10. se nalaze debljine protupožarnog premaza prije i nakon ekspanzije, uz njih su brojučano i postotno navedena povećanja debljine premaza.



Slika 89 Mjerenje debljine pjene na H5 uzorku pomoću pomične mjerke



Slika 90 Pločice H3;H5;H7 i 1;3;6;7 nakon paljenja

Tablica 10 Izmjerena debljina pjene u  $\mu\text{m}$

DEBLJINA PJENE								
	H3	H5	H6	H7	1	3	6	7
DEBLJINA PP	402,9	601,42	473,6	470,77	622,75	687,93	493,65	543,9
DEBLJINA PJENE	7160	16080	5060	3670	2640	3200	6100	7980
UVEĆANJE	6757,1	15478,58	4586,4	3199,23	2017,25	2512,07	5606,35	7436,1
%	1777%	2674%	1068%	780%	424%	465%	1236%	1467%

### 7.11.2. Ispitivanje protupožarnosti s plamenikom za plinsko zavarivanje

Protupožarno ispitivanje s plamenikom za plinsko zavarivanje rađeno je u kontroliranim uvjetima, u Laboratoriju za zavarene konstrukcije. Improvizirana ispitna zona iz prethodnog ispitivanja je ponovno iskorištena kako bi se smanjio gubitak topline. Plamenik za plinsko zavarivanje i paljenje uzorka H4 su prikazani na Slika 91.



Slika 91 Paljenje uzorka H4 plamenikom za plinsko zavarivanje

Ovom metodom su ispitivani uzorci na vatrootpornost KLASA 30 i 60 minuta. Temperature zagrijavanja uzoraka od KLASA 30 se nalaze na Tablica 11., a KLASA 60 na Tablica 12. i 13. Uz njih je ispitana i jedna „praznu“ čelična pločica, čije se ispitivanje prekinuli u trenutku kada je temperatura prešla 550 °C, zbog referentnih vrijednosti unutar tablice.

Tablica 11 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30

VRIJEME	D1-SL	D2- VL	D3-AT	B1-SL	B2-VL	B3-AT	PRAZNA
0	88,6	79,4	57,3	60,5	47,9	42,5	15,7
1	248,7	200,8	212,0	198,5	230,8	151,4	240,1
2	291,3	245,2	255,0	299,3	296,9	191,0	308,2
3	302,3	280,8	285,0	358,3	341,2	227,6	365,1
4	329,3	304,8	290,2	392,1	370,5	243,6	394,2
5	344,1	317,4	297,7	429,4	392,4	251,9	431,7
6	358,5	328,6	304,6	453,8	404,4	259,4	461,5
7	367,2	339,2	306,4	468,2	421,3	268,1	487,1
8	372,7	341,6	308,4	471,8	430,3	275,6	489,3
9	377,9	346,7	317,8	481,7	442,6	285,6	515,0
10	387,6	347,7	319,2	492,0	449,6	293,5	535,0
11	391,1	349,6	323,4	500,5	450,0	306,7	541,9
12	396,6	357,3	327,3	509,5	448,2	311,6	551,0
13	400,8	360,9	330,6	508,5	447,5	317,6	550,0
14	403,4	364,3	333,2	508,7	453,3	325,7	550,0
15	405,2	368,5	336,1	507,3	453,4	335,0	550,0
16	406,7	369,4	338,9	511,1	459,9	339,3	550,0
17	406,8	370,1	344,0	516,2	462,9	353,5	550,0
18	409,9	369,8	347,9	520,4	460,4	359,0	550,0
19	411,2	370,2	350,2	524,8	464,1	363,2	550,0
20	414,8	370,1	351,2	529,8	466,5	363,8	550,0
21	415,1	372,1	352,0	532,8	466,9	372,1	550,0
22	419,7	374,2	353,8	535,1	468,6	374,8	550,0
23	423,3	378,1	354,6	538,1	470,6	386,6	550,0
24	424,6	382,8	355,5	539,2	471,0	390,2	550,0
25	425,1	384,1	358,6	542,1	470,2	400,7	550,0
26	426,9	383,6	362,8	543,1	470,5	404,0	550,0
27	430,3	384,9	365,3	544,2	470,7	411,3	550,0
28	431,7	384,7	368,2	540,2	470,9	409,4	550,0
29	432,4	384,9	372,1	541,2	470,3	417,8	550,0
30	432,7	384,1	376,8	542,2	470,6	420,5	550,0



Tablica 12 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 do 30 min

VRIJEME	PRAZNA	H1-AT	H2-SL	H4-VL	2-AT	4-SL	5-VL
0	15,7	41,1	60,1	55,7	22,6	21,5	32,6
1	240,1	97,1	180,9	176,5	139,1	155,2	169,9
2	308,2	129,7	220,2	205,3	197,6	214,5	231,6
3	365,1	151,9	243,0	254,9	224,8	250,8	258,4
4	394,2	169,1	246,8	271,1	249,9	297,7	280,9
5	431,7	178,5	250,2	276,0	259,7	316,3	297,1
6	461,5	183,7	260,3	283,6	276,0	340,6	320,0
7	487,1	187,0	261,3	283,7	278,9	351,5	324,4
8	489,3	191,0	266,8	286,4	285,3	358,7	326,6
9	515,0	192,8	270,2	287,9	291,5	366,0	329,5
10	535,0	195,8	272,5	288,4	295,4	374,7	333,2
11	541,9	195,8	279,4	288,7	297,4	383,5	338,4
12	551,0	195,2	284,8	290,4	296,0	393,0	345,3
13	550,0	195,7	288,7	295,1	297,0	402,2	351,2
14	550,0	195,4	290,5	303,0	295,6	401,0	358,5
15	550,0	197,7	293,5	305,5	297,2	400,7	361,5
16	550,0	198,4	295,8	308,2	297,0	403,3	365,6
17	550,0	199,9	295,0	309,0	297,3	404,6	368,7
18	550,0	200,5	293,5	309,1	297,4	405,9	372,4
19	550,0	201,2	290,6	311,4	297,7	404,9	375,2
20	550,0	201,0	294,4	314,2	299,0	406,1	380,9
21	550,0	202,1	295,9	314,4	299,3	408,2	386,2
22	550,0	200,8	298,5	315,7	299,3	409,1	388,9
23	550,0	200,8	299,8	319,1	300,4	413,1	393,9
24	550,0	200,6	303,6	319,6	302,2	414,3	397,1
25	550,0	200,0	308,4	323,8	303,1	416,2	401,2
26	550,0	200,7	309,6	324,7	305,7	416,4	402,9
27	550,0	200,6	310,6	324,8	306,0	416,3	404,1
28	550,0	200,2	311,4	325,0	307,0	416,0	405,0
29	550,0	200,1	311,2	326,4	308,1	416,8	405,3
30	550,0	200,5	311,9	326,6	309,5	418,8	405,8

Tablica 13 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 od 30 min

VRIJEME	PRAZNA	H1-AT	H2-SL	H4-VL	2-AT	4-SL	5-VL
31	550,0	200,0	312,4	326,3	309,1	420,8	406,3
32	550,0	200,4	313,8	325,6	309,9	423,7	406,8
33	550,0	200,7	314,7	326,3	311,2	424,5	407,2
34	550,0	201,0	314,2	327,7	311,5	426,5	411,8
35	550,0	203,5	314,5	327,3	311,7	427,1	412,4
36	550,0	202,9	314,3	327,4	312,1	428,5	413,1
37	550,0	203,0	314,1	327,8	312,3	429,2	414,5
38	550,0	203,6	314,4	328,5	313,8	430,1	415,3
39	550,0	202,4	314,1	329,1	313,5	432,7	417,1
40	550,0	204,7	314,7	331,0	314,6	434,0	418,5
41	550,0	203,2	314,8	332,1	313,3	434,2	419,8
42	550,0	205,1	314,8	332,8	313,0	435,9	421,1
43	550,0	203,7	314,6	333,4	311,4	435,4	421,4
44	550,0	204,7	315,4	335,1	311,7	435,5	421,8
45	550,0	203,9	315,5	337,7	312,0	435,7	422,3
46	550,0	206,1	315,8	338,5	311,2	434,6	422,7
47	550,0	205,6	316,9	340,8	311,4	435,0	423,2
48	550,0	205,7	318,5	341,6	311,8	434,8	424,5
49	550,0	206,7	319,0	343,4	311,9	434,6	426,3
50	550,0	207,5	320,1	343,6	311,6	435,1	428,5
51	550,0	208,0	321,3	344,4	310,4	435,3	430,9
52	550,0	207,5	322,0	345,1	310,6	435,4	432,3
53	550,0	207,8	322,6	344,8	310,9	435,2	434,6
54	550,0	208,8	322,4	345,3	310,7	435,5	435,1
55	550,0	209,0	323,4	345,6	309,8	435,8	435,2
56	550,0	207,8	323,5	346,1	310,4	436,1	435,7
57	550,0	208,9	323,2	346,3	310,1	436,3	435,2
58	550,0	207,6	323,5	345,8	310,4	436,4	435,8
59	550,0	208,7	323,4	346,0	310,2	436,2	436,1
60	550,0	208,5	323,1	345,7	310,6	436,5	436,2

#### 7.11.2.1. Ispitivanje debljine pjene

Nakon provedenog paljenja ispitnih uzoraka, izmjerena je debljina nastale pjene (Slika 92.). Na Slici 93. prikazane su pločice KLASA 30 izlagane u atmosferskim uvjetima, te ispitane u vlažnoj i slanoj komori nakon paljenja, a na Slici 94. prikazani su uzorci oznake KLASA 60, zaštićeni premazima u većoj debljini. U Tablicama 14. i 15. se nalaze debljine protupožarnog premaza prije i nakon ekspanzije, uz njih su brojčano i postotno navedena povećanja debljine premaza.



*Slika 92 Mjerenje pjene na ispitnom uzorku 2*



Slika 93 Pločice H1;H2;H4 i 2;4;5 nakon paljenja



Slika 94 Pločice D1;D2;D3 i B1;B2;B3 nakon paljenja

Tablica 14 Izmjerena debljina pjene u  $\mu\text{m}$  za KLASA 30

DEBLJINA PJENE						
	D1	D2	D3	B1	B2	B3
DEBLJINA PP	207,91	243,88	208,3	240,92	193,4	182,6
DEBLJINA PJENE	11580	14260	8820	6560	3440	9440
UVEĆANJE	11372,09	14016,12	8611,7	6319,08	3246,6	9257,4
%	5570%	5847%	4234%	2723%	1779%	5170%

Tablica 15 Izmjerena debljina pjene u  $\mu\text{m}$  za KLASA 60

DEBLJINA PJENE						
	H1	H2	H4	2	4	5
DEBLJINA PP	449,56	471,6	389,27	656,7	618,7	607,72
DEBLJINA PJENE	25980	26560	25160	31000	22040	18280
UVEĆANJE	25530,44	26088,4	24770,73	30343,3	21421,3	17672,28
%	5779%	5632%	6463%	4721%	3562%	3008%

## 8. ANALIZA REZULTATA

U ovom poglavlju su analizirani rezultati svih ispitivanja provedenih u eksperimentalnom dijelu. Radi preglednosti i bolje analize korišten je grafički prikaz podataka.

### 8.1. ANALIZA ISPITIVANJA DEBLJINE PREMAZA

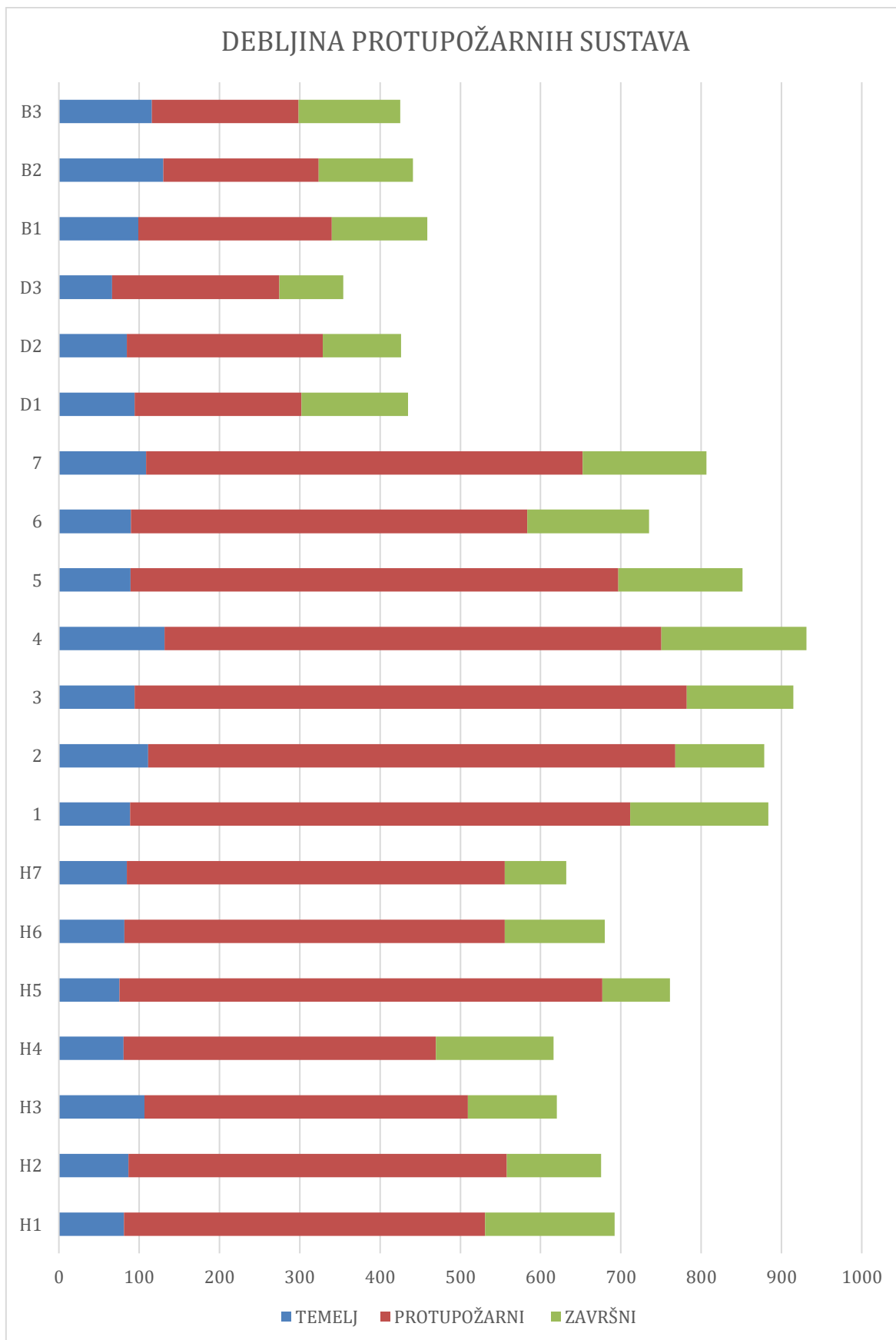
Tablični prikaz podataka debljine slojeva iz tablice 3 je prebačen u grafički prikaz Graf 1. zbog jednostavnije analize. Grafički prikaz prikazuje slojeve i njihove debljine u realnome omjeru, te prema redosljedu nanošenja.

Iz grafičkog prikaza se iščitavaju veća odstupanja u debljini protupožarnih premaza između HEL60 i HEM60. Vidljivo je da su ispitne pločice HEM60 značajno deblje na razini cijeloga sustava, posebice protupožarnog premaza. Gornja granica odstupanja doseže razliku od gotovo 300  $\mu\text{m}$ .

Također se iščitavaju malo deblji slojevi temeljnog i završnog sloja kod HEM60, što rezultira gornjom granicom odstupanja od preko 300  $\mu\text{m}$  na razini cijeloga sustava.

HEL30 i HEM30 imaju podjednake debljine u svim slojevima.

S obzirom na debljinu protupožarnog premaza, očekuje se da će HEM60 moći duže izdržati pod otvorenim plamenom od HEL60, budući da međusloj prelazi za preko 50% minimalnu debljinu za zaštitu R60.



Graf 1 Grafički prikaz izmjerenih debljina svih slojeva ispitnih uzoraka u  $\mu\text{m}$

## 8.2. ANALIZA ISPITIVANJA U SLANOJ KOMORI

Rezultati ispitivanja prikazani na Graf 2. pokazuju očigledne razlike između premaza dva različita proizvođača.

Rezultati ispitivanja korozije oko ureza ukazuju kako su oba temeljna premaza odlično odradila svoj posao štiteći ispitnu površinu od širenja korozivnog djelovanja.

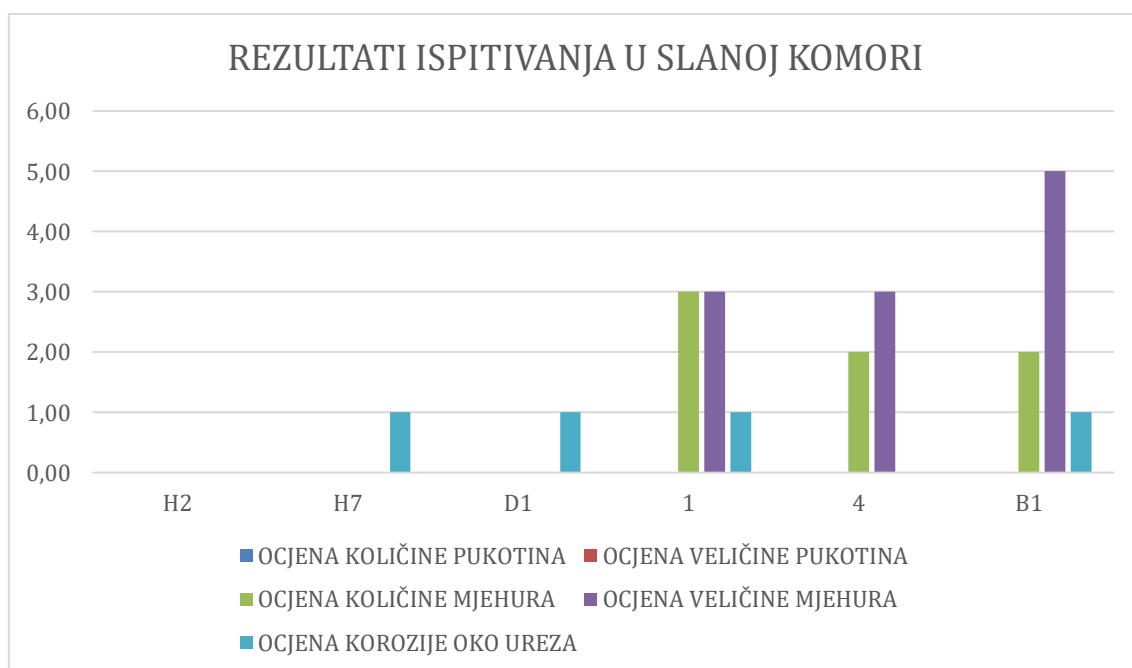
Budući da su oba temeljna sloja od epoksidnog temelja, rezultati su očekivani.

Završni slojevi oba premaza su odlično odradila svoju funkciju što se tiče pucanja. Niti jedan ispitni uzorak nije imao vidljive pukotine na površini prilikom ubrzanih ispitivanja u komorama.

Završni slojevi na bazi poliuretana su opravdali očekivanja.

Prvi ozbiljniji problemi se pojavljuju kod ispitivanja na mjehuranje. Ispitna pločica 1 ima najveću količinu mjehura na svojoj površini, koji su nastali uslijed popuštanja završnog sloja na uvijete slane komore. Ispitna pločica 4 ima mjehure istih dimenzije ali manje količine od ispitne pločice 1. B1 ispitna pločica iz skupine HEM30 ima pojavu najvećih mjehura, iako u manjoj količini.

Iz analize proizlazi da su temeljni slojevi oba proizvođača otporni na širenje korozije oko ureza, dok HEM završni sloj ima većih oštećenja uslijed mjehuranja.



Graf 2 Grafički prikaz rezultata ispitivanja u slanoj komori

### 8.3. ANALIZA ISPITIVANJA U VLAŽNOJ KOMORI

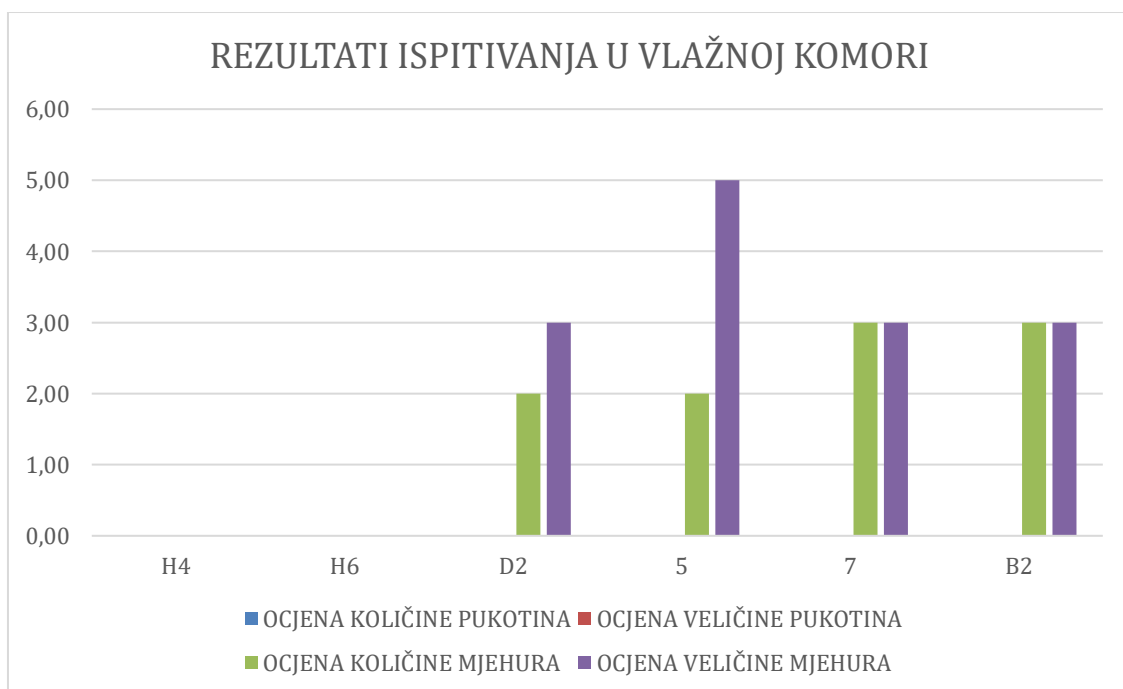
Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori, shodno očekivanjima, podudaraju se s rezultatima ispitivanja u slanoj komori.

Završni, poliuretanski slojevi se pokazuju otpornima na pucanje kod oba proizvođača, ali ponovno nastaju problemi s mjehuranjem.

Ispitne pločice 7 i B2 imaju podjednaku količinu i veličinu mjehura po površini, dok pločica 5 ima pojavu najvećih mjehura.

Mjehuranje se u manjoj količini, ali većim dimenzijama, pojavljuje i na D2 uzorku, zaštićenom sa protupožarnim premazom u manjoj debljini, iz skupine HEL30.

Iz analize proizlazi da oba završna premaza imaju problema s mjehuranjem, posebice HEM premazi čije su sve ispitne pločice izmjehurale u komorama.



*Graf 3 Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori*



#### 8.4. ANALIZA ISPITIVANJA PRIONJIVOSTI X-CUT METODOM

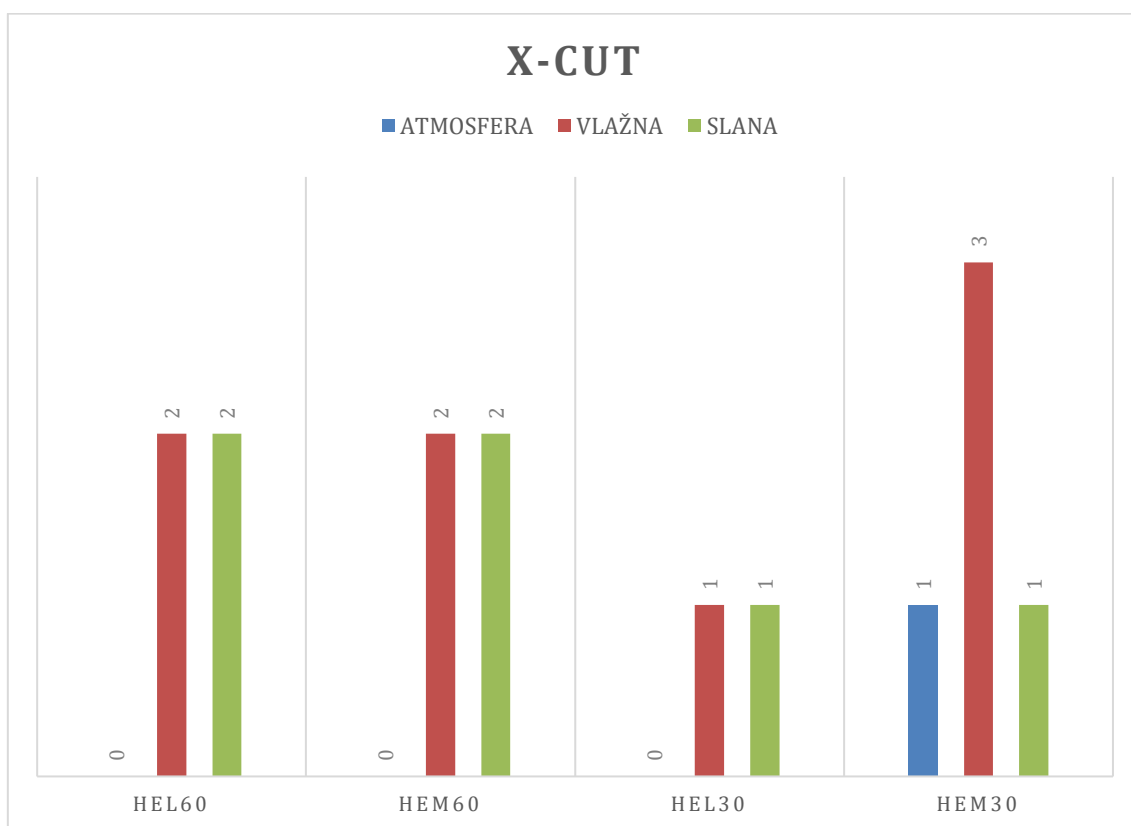
U Grafu 4. se nalaze svi rezultati X-cut ispitivanja prionjivosti premaza. Rezultati su grupirani prema proizvođaču i klasi zbog lakše usporedbe i analize.

Iz rezultata se očitava agresivno djelovanje slane i vlažne komore na završni sloj, što je očekivano. Uvjeti ispitivanja u komorama su doveli do gubitka prionjivosti završnog sloja, te se on odvaja od protupožarnog premaza, tijekom ispitivanja.

Iz rezultata je vidljivo kako su komore više utjecale na premaze klase 60, u odnosu na klasu 30.

U klasi 60 nema vidljivih razlika u prionjivosti između proizvođača, dok su u klasi 30 vidljive razlike. HEM30 ima malo lošije rezultate od HEL30.

S obzirom na prethodna ispitivanja, očekivani su malo lošiji rezultati HEM pločica, također su očekivani lošiji rezultati pločica s više protupožarnog premaza zbog veće količine upijanja vlage.



Graf 4 Analiza rezultata X-cut ispitivanja

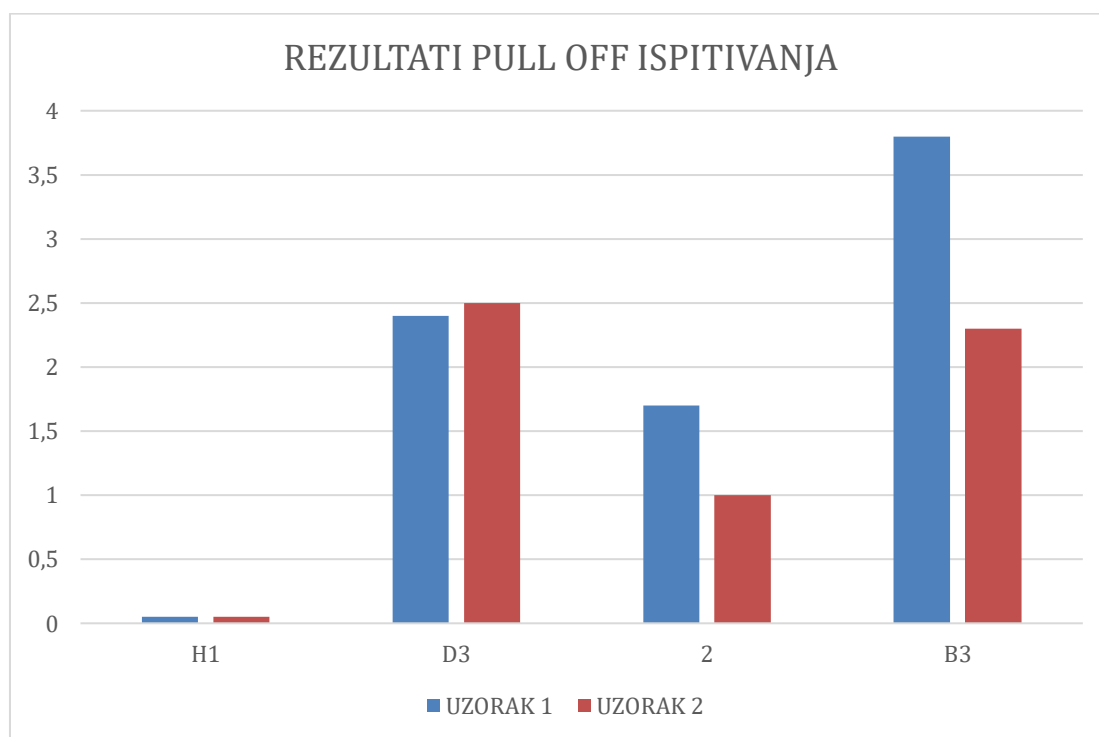
## 8.5. ANALIZA ISPITIVANJA PRIONJIVOSTI PULLOFF METODOM

Rezultati Pull-off ispitivanja prionjivosti premaza se nalaze u Grafu 5. Ispitivanje je provedeno 2 puta na svakoj pločici.

Rezultati su problematični budući da se moraju odbaciti vrijednosti H1 ispitnog uzorka, pošto su ispitivanja na premazu rađena s uređajem koji nije bio ispravan.

Iz preostalih rezultata se iščitava tendencija veće prionjivosti tanjih premaza, što je rezultat pjenastog međusloja protupožarnog premaza.

Svi su rezultati prionjivosti relativno niske vrijednosti, što je zbog pjenaste strukture protupožarnog premaza očekivano.



Graf 5 Rezultati Pull off ispitivanja u MPa

## 8.6. ANALIZA ISPITIVANJA SHORE D METODOM

Iz Grafa 6. se iščitava jednaki trend kod oba proizvođača na istim debljinama.

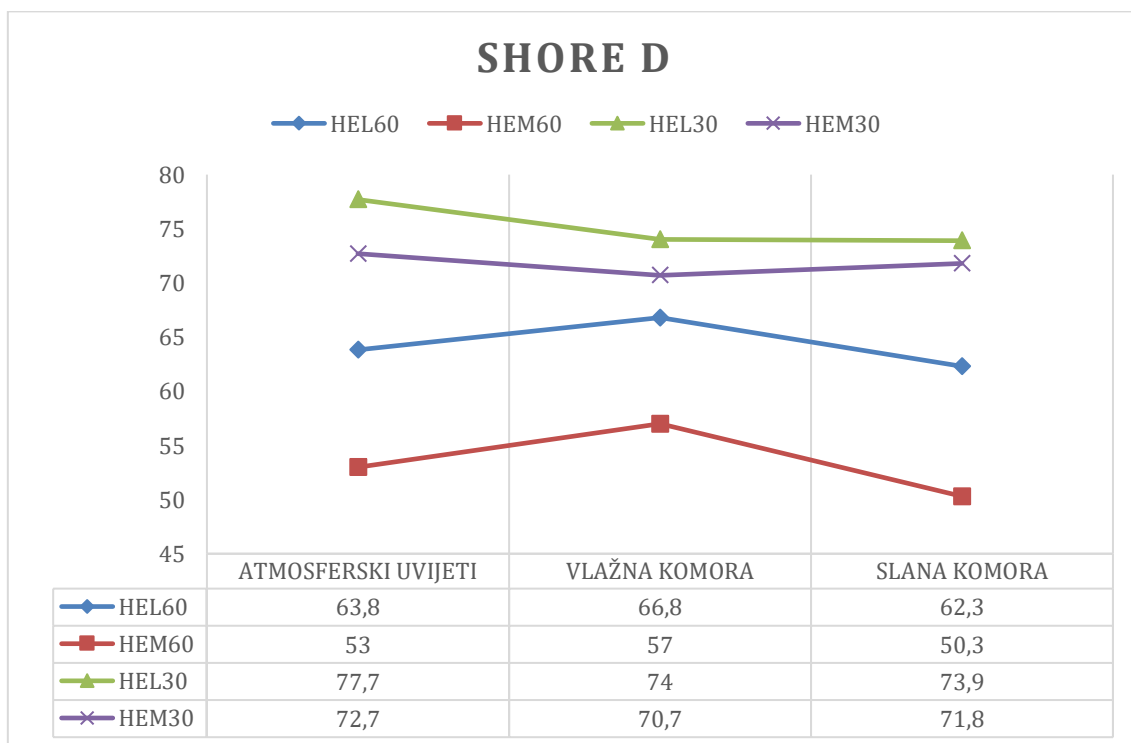
Pločice s tanjim međupremazom imaju pad tvrdoće u vlažnoj komori, dok one s debljim premazom imaju porast tvrdoće u vlažnim uvjetima naspram atmosferskim.

Svi premazi imaju tendenciju pada tvrdoće u slanoj komori naspram atmosferskih uvjeta.

Iz rezultata se može iščitati kako slana atmosfera u komori ima najveći negativni utjecaj na tvrdoću uzoraka.

Iz rezultata se zaključuje kako su uzorci klase 60 upijanjem veće količine vlage povećali tvrdoću svog pjenastog premaza, naspram uzoraka klase 30 čija je tvrdoća time opadala.

Rezultati prikazuju negativan utjecaj količine pjene na tvrdoću premaza. Moguće je također iščitati konstantnu veću tvrdoću premaza HEL naspram HEM.



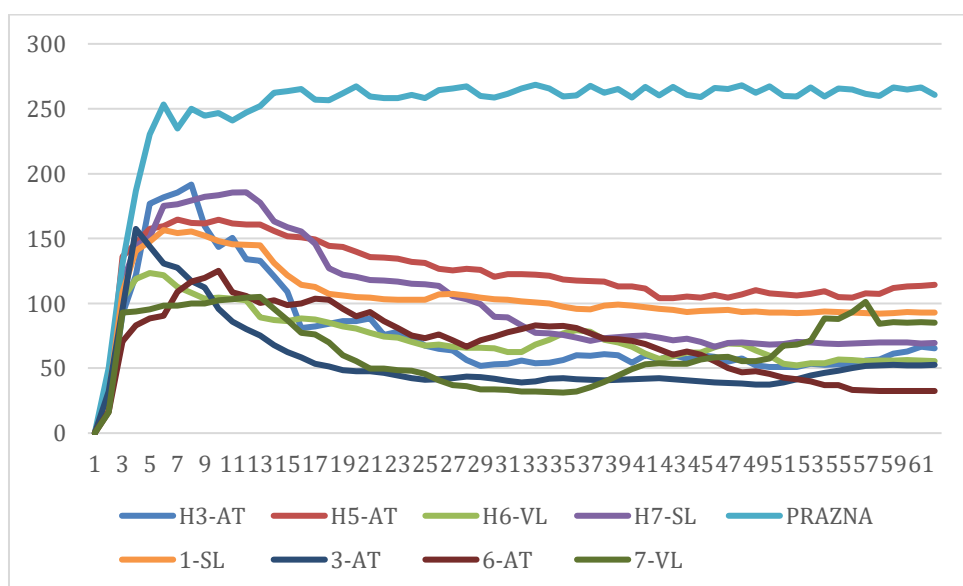
Graf 6 Rezultati Shore D ispitivanja

## 8.7. ANALIZA ISPITIVANJA PROTUPOŽARNOSTI RUČNIM PLAMENIKOM

Graf 7. prikazuje rezultate mjerenja temperature svih uzoraka ispitivanih ovom metodom. Iz grafa je vidljivo kako su vanjski uvjeti, vjetar i temperatura, imali veliki utjecaj na rezultate ispitivanja.

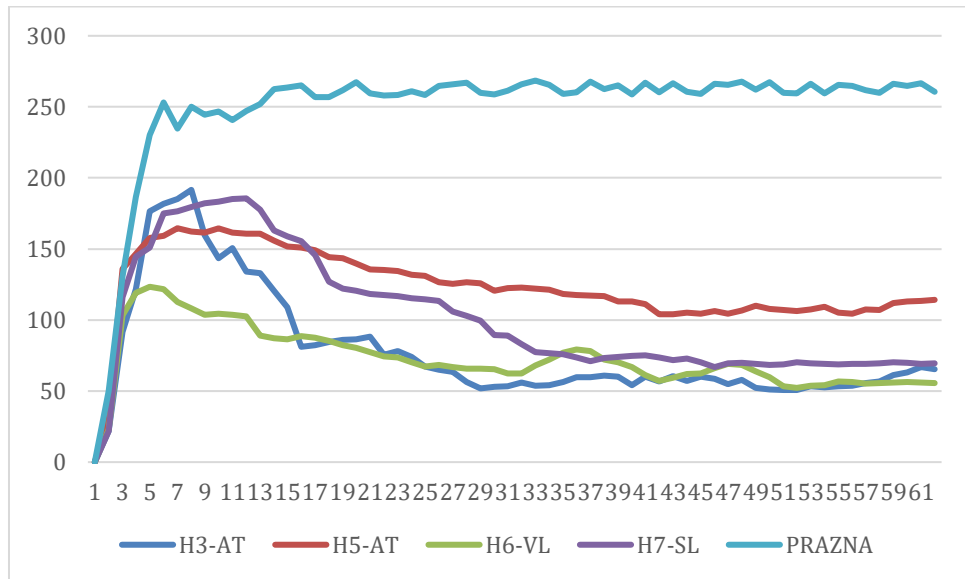
Iz grafa se također može očitati kako plamenik nije bio dovoljno snažan da zagrije ispitne pločice do temperature od 550 °C.

Svi su uzorci nakon početnog temperaturnog skoka održavali mnogo niže temperature od

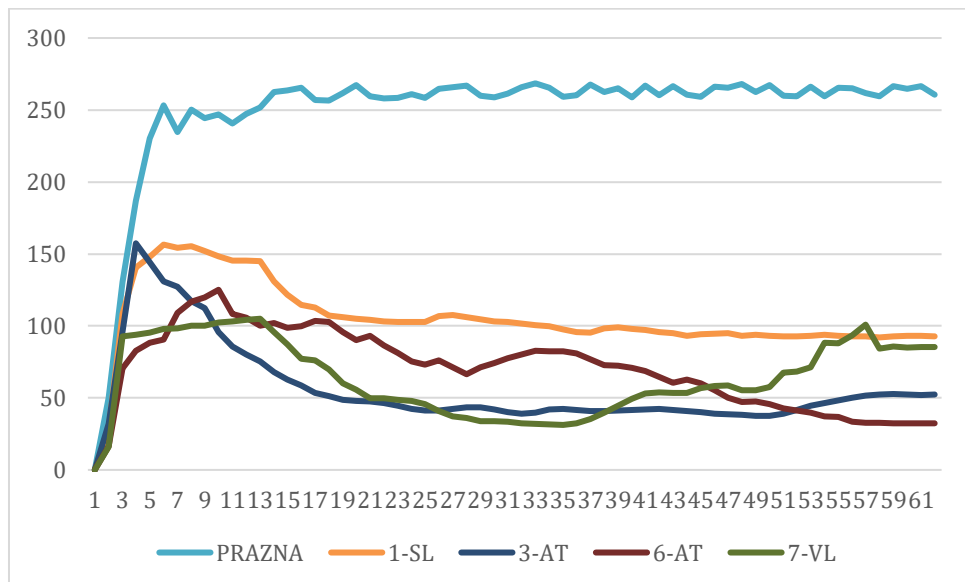


Graf 7 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom za sve uzorke

Analizom rezultata prikazanih na Grafu 8. je vidljiva nejednaka distribucija toplina među jednakim uzorcima, što se također događa na Grafu 9. Razlog toga je utjecaj vanjskih uvjeta, odnosno temperature okoline i prisutnost vjetra. Iz rezultata mjerenja temperatura se iščitava ujednačeno ponašanje protupožarnih premaza neovisno o uvjetima prethodnog ispitivanja uzoraka.



Graf 8 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka Helios sustava premaza



Graf 9 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka Hempel sustava premaza

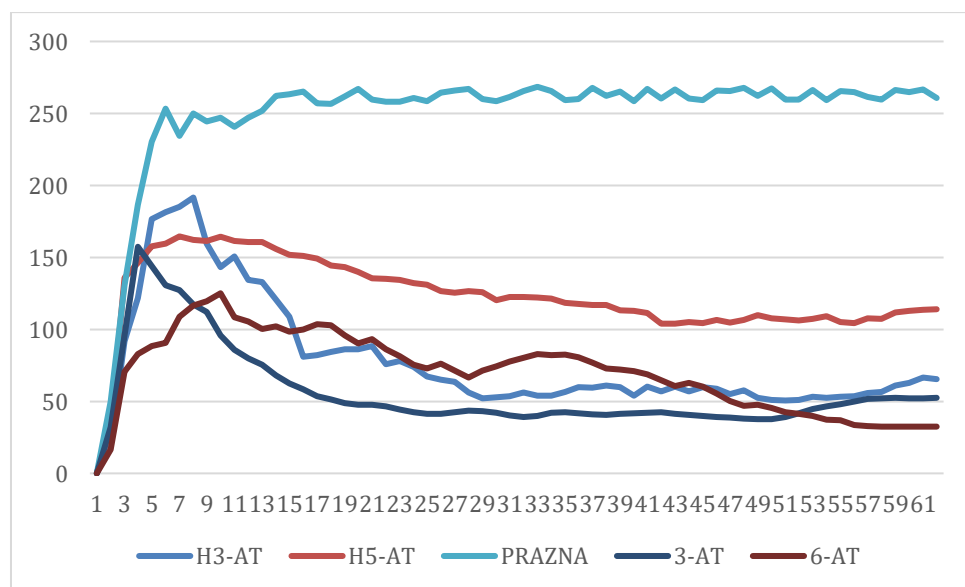
Na Grafu 10.-12. su prikazane temperaturne razlike između premaza dvaju proizvođača koji su prethodno testirani na iste uvjete.

U atmosferskim uvjetima, prikazanim na grafu 10. se očitava tendencija slabijeg zagrijavanja uzoraka HEM naspram uzoraka HEL.

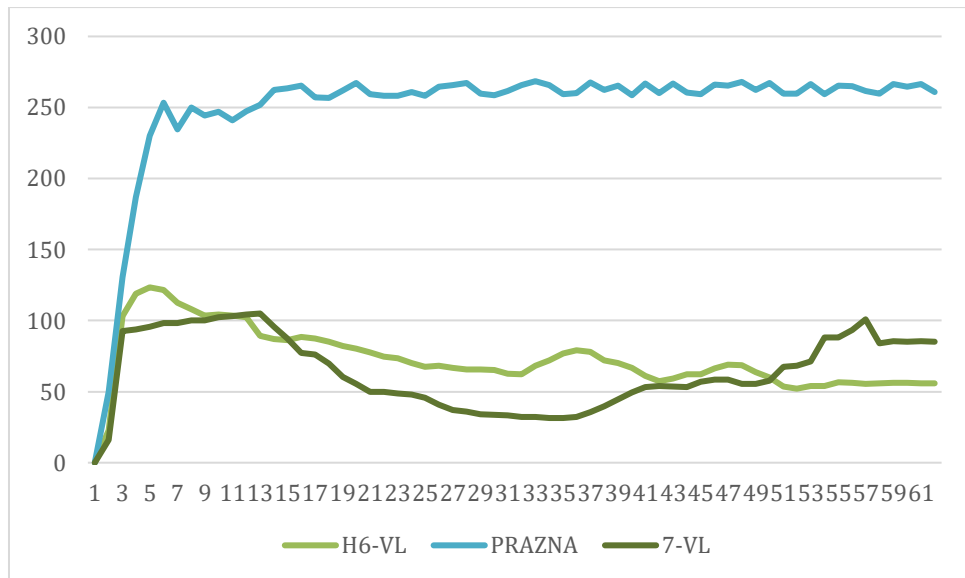
Vlažni uvjeti kod ispitivanja u vlažnoj komori pokazuju podjednak utjecaj na temperature kod oba proizvođača, gdje se zamjećuje porast temperature ispitne pločice 7 nakon konstantnog pada temperature. Mogući razlog dolaska do navedene promjene su vjetrovi koji su ciklički puhali za vrijeme ispitivanja.

Korozivni uvjeti pokazuju podjednak utjecaj temperature kod oba proizvođača u slanoj komori, gdje se zamjećuje veće zagrijavanje ispitne pločice H7, kao i sporije hlađenje pločice 1, koja nakon slabijeg početnog temperaturnog skoka održava temperaturnu razliku s Hz ispitnom pločicom.

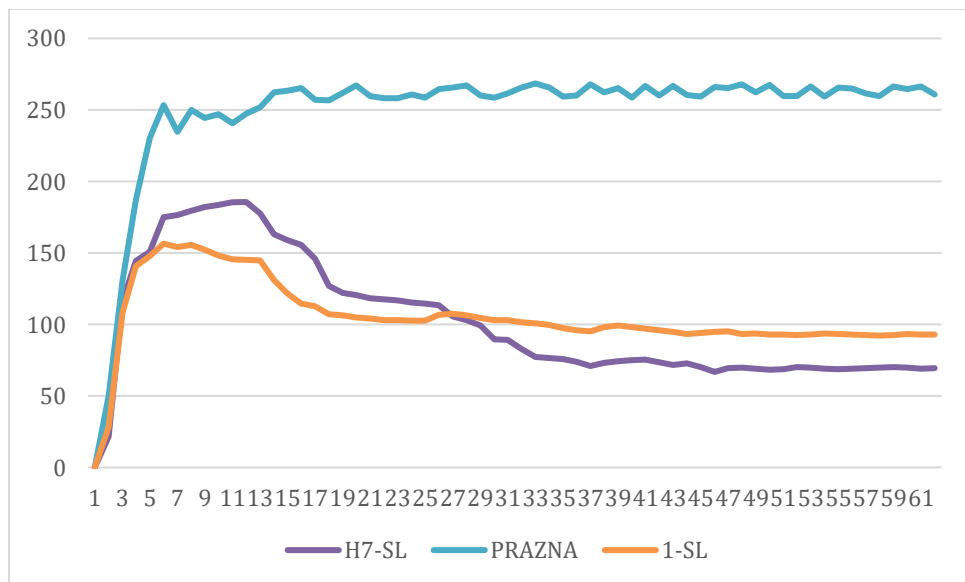
Zaključno se može reći da su HEM premazi tokom cijelog ispitivanja imali niže temperature od strane HEL premaza, što je očekivano s obzirom na znatno veće debljine protupožarnog sloja, osim u uvjetima slane komore, gdje su imale samo niži početni temperaturni skok.



Graf 10 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka pri atmosferskim uvjetima



Graf 11 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka u vlažnoj komori



Graf 12 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja ručnim plamenikom uzoraka u slanoj komori

## 8.8. ANALIZA ISPITIVANJA PROTUPOŽARNOSTI PLAMENIKOM ZA PLINSKO ZAVARIVANJE

Na razliku od ispitivanja ručnim plamenikom, ispitivanja provedena plamenikom za plinsko zavarivanje su rađena unutar kontroliranih uvjeta u zatvorenom prostoru što je i vidljivo iz Grafa 13.

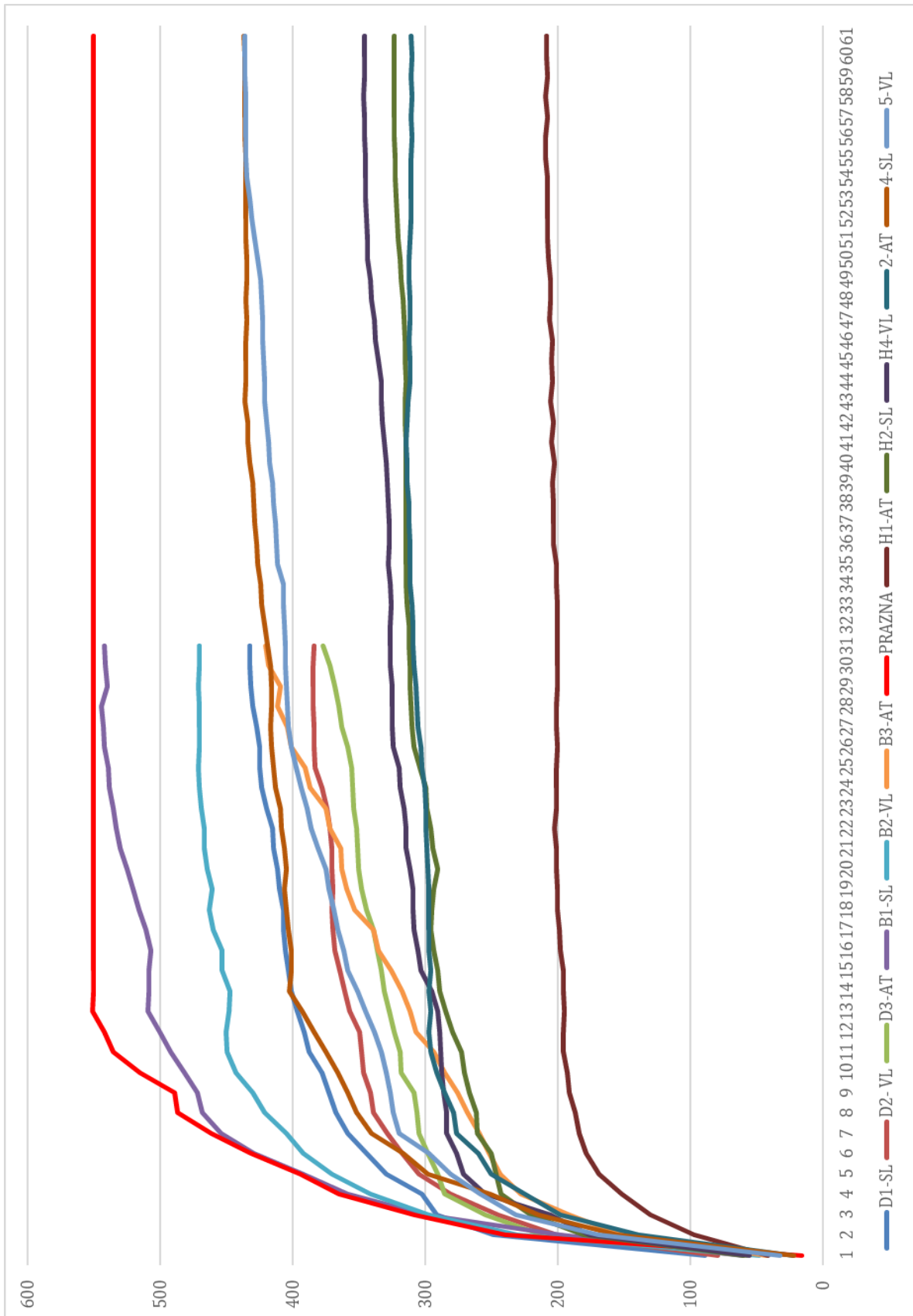
Nije došlo do raspršivanja vrijednosti izmjerenih temperatura, gotovo svi uzorci imaju očekivane eksponencijalne grafove.

Na grafu 13 se nalaze rezultati ispitnih uzoraka obje klase, što se očitava prekidom temperaturnih linija dijela ispitnih uzoraka nakon 30 minuta, kada su zadovoljili uvijete ispitivanja.

„Prazna“ ispitna pločica je prikazana crvenom linijom, pošto je nakon 12 minuta ispitivanja prešla temperaturu od 550 °C, njeno je ispitivanje prekinuto te su rezultati nadopunjeni linijom od 550 °C kao gornjom graničnom linijom ispitivanja.

Analizom grafičkog rezultata se uočava kako su svi ispitani uzorci zadovoljili ispitivanje unutar svoje klase. Ispitni uzorak H1 HEL60 je pokazao najbolju otpornost, a uzorak B1 HEM30 najlošiju otpornost.





Graf 13 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka svi rezultati

### 8.8.1. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti KLASA60

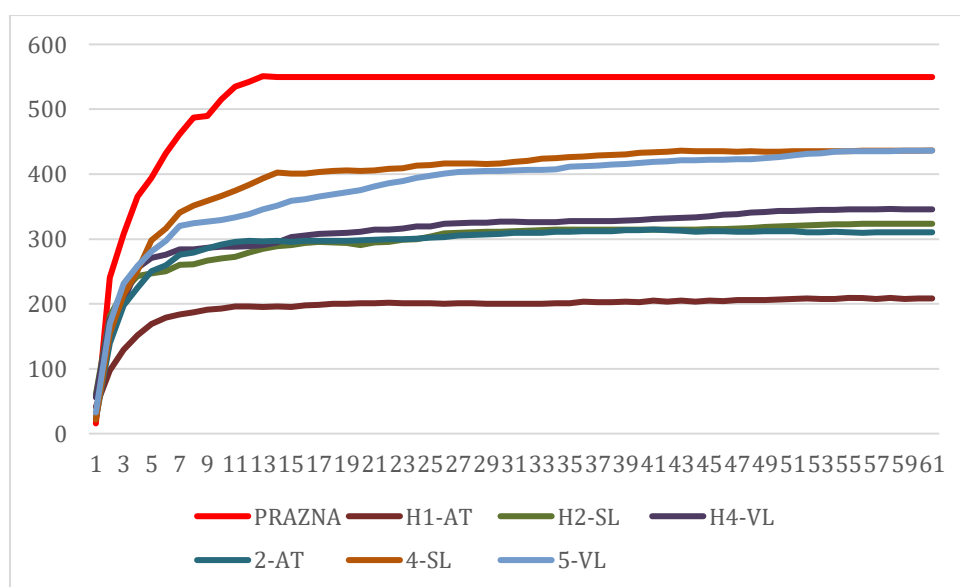
Graf 14. prikazuje rezultate protupožarnog ispitivanja s plamenikom za plinsko zavarivanje na uzorcima klase 60.

Analizom grafa 14. se vidi da su sve izmjerene vrijednosti doživjele eksponencijalni rast i da nije dolazilo do padanja ili raspršivanja temperatura za vrijeme ispitivanja. Svi uzorci su imali nagli rast na početku ispitivanja te postepeni rast do kraja ispitivanja.

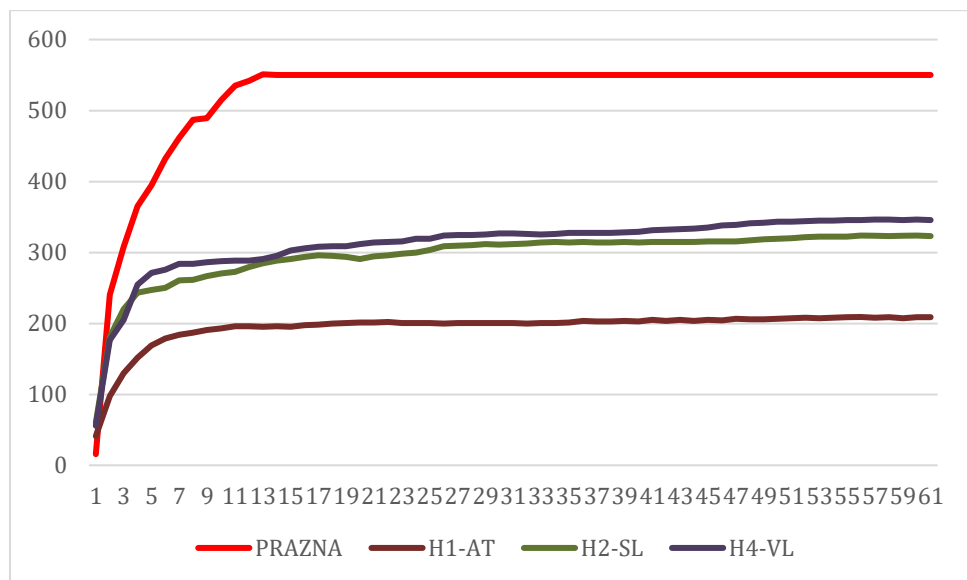
Niti jedan ispitni uzorak se nije približio temperaturi od 550 °C, što je očekivano s obzirom na specifikacije dane od strane proizvođača.

Na Grafu 15. i Grafu 16. su zasebno prikazani uzorci HEL60 i HEM60. Analiziranjem navedenih grafova se može doći do zaključka kako su temperature postignute paljenjem uzoraka izloženih samo atmosferskim uvjetima zamjetno manje od onih ispitivanih u vlažnoj i slanoj komori.

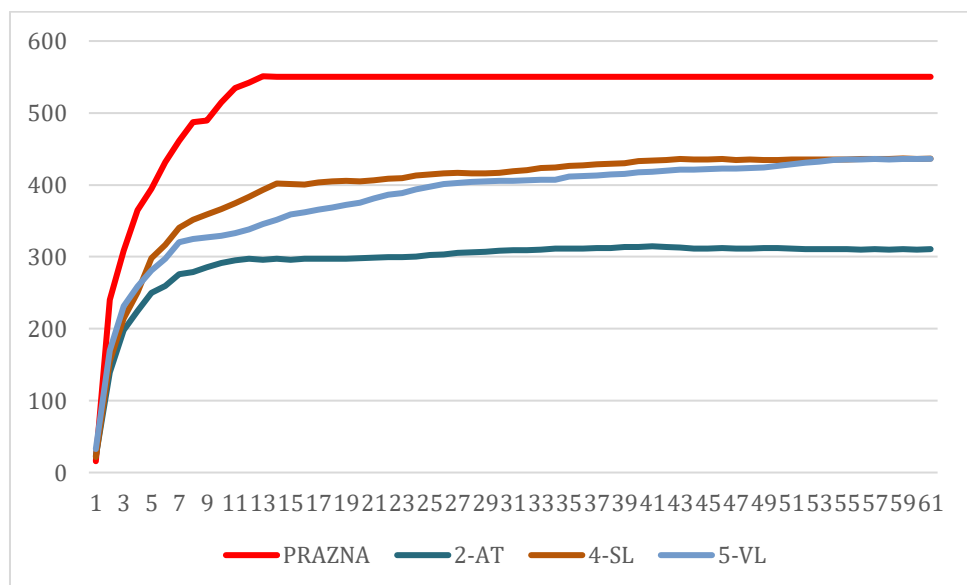
Iz navedenih grafova se može iščitati da ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori podjednako negativno djeluju na ispitne uzorke. U slučaju HEL60, uzorci iz vlažne komore poprimaju lagano povišenije temperature, a u slučaju HEM60 se isto događa sa uzorcima iz slane komore.



Graf 14 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA 60



Graf 15 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL60



Graf 16 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM60

Grafovi 17.-19. prikazuju usporedbu temperaturnih rezultata ispitivanja protupožarnosti plamenikom za plinsko zavarivanje klase 60 za slanu i vlažnu komoru, kao i atmosferske uvjete.

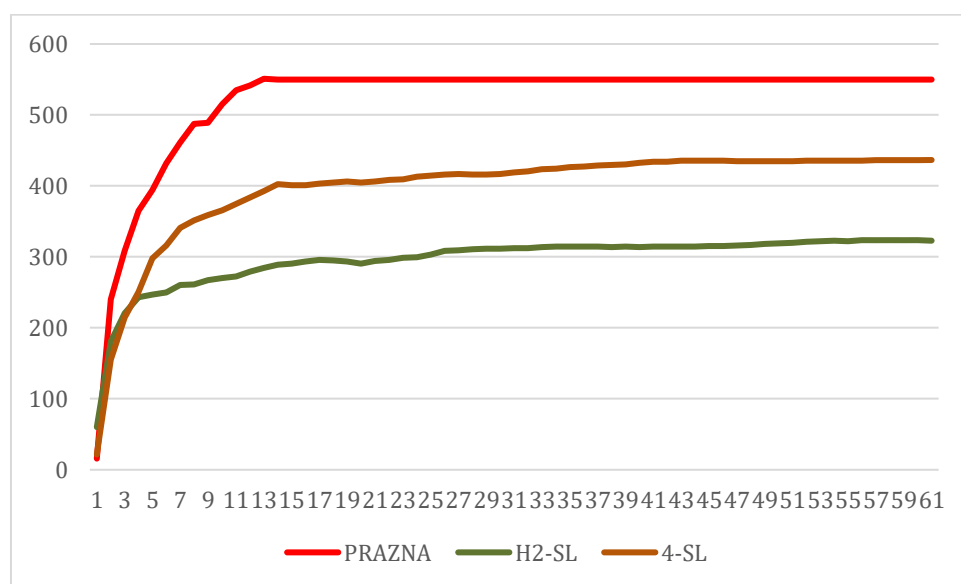
Analizom grafičkih rezultata se vidi kako se prilikom ispitivanja u slanoj komori s vremenom održava podjednaka razlika u temperaturama između oba proizvođača. Linije oba ispitna uzorka imaju eksponencijalni oblik s tendencijom laganog rasta tokom vremena.

Rezultati uzoraka iz vlažne komore su sukladni rezultatima ispitivanja u slanoj komori. Temperaturne razlike su konstantne s obzirom na vrijeme, linije su eksponencijalne, s malo većom tendencijom rasta tokom vremena od slane komore.

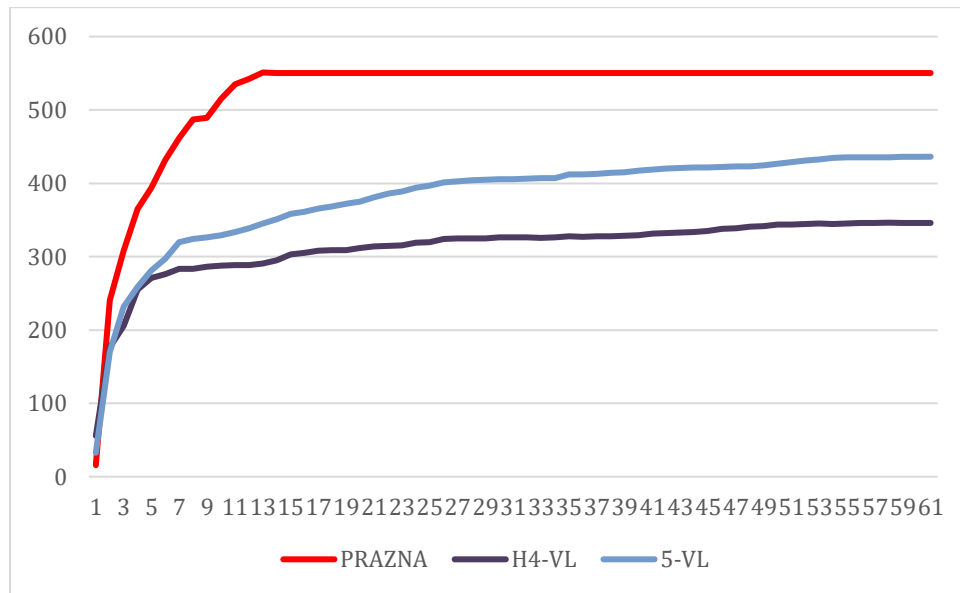
Prema očekivanjima, s obzirom na prethodne dvije analize, rezultati ispitnih uzoraka s atmosferskim uvjetima održavaju konstantnu temperaturnu razliku, ali imaju manju tendenciju rasta naspram drugih uzoraka.

Analizom se utvrđuje kako su HEL60 premazi u sva tri ispitivanja imali tendenciju bolje izolacije ispitne pločice od HEM60 premaza, u prosjeku za 80-100°C.

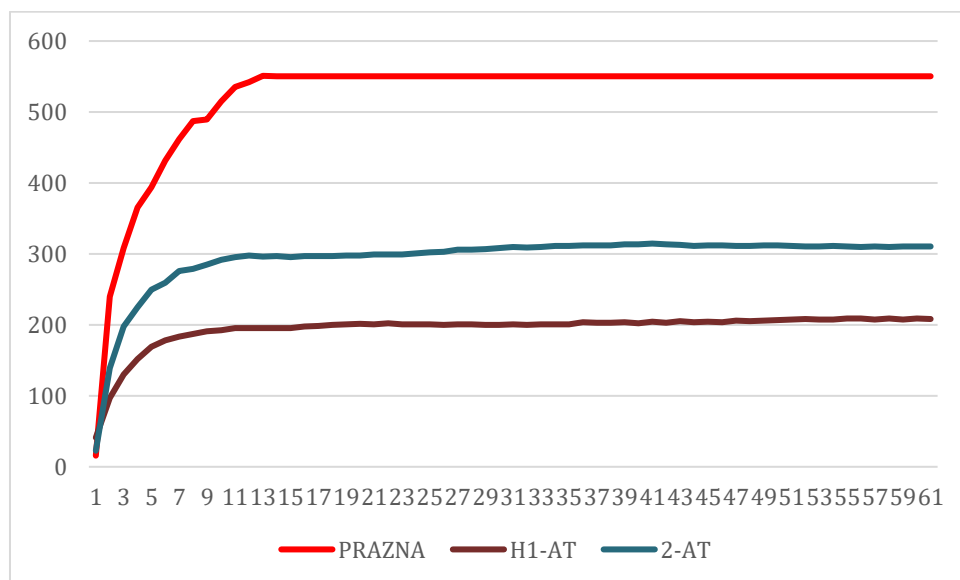
Ispitni uzorci iz vlažne komore su imali najveću tendenciju daljnjeg rasta temperature, a uzorci koji su bili izloženi atmosferskim uvjetima najmanju.



Graf 17 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 u slanoj komori



Graf 18 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 u vlažnoj komori



Graf 19 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA60 pri atmosferskim uvjetima

### 8.8.2. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti KLASA30

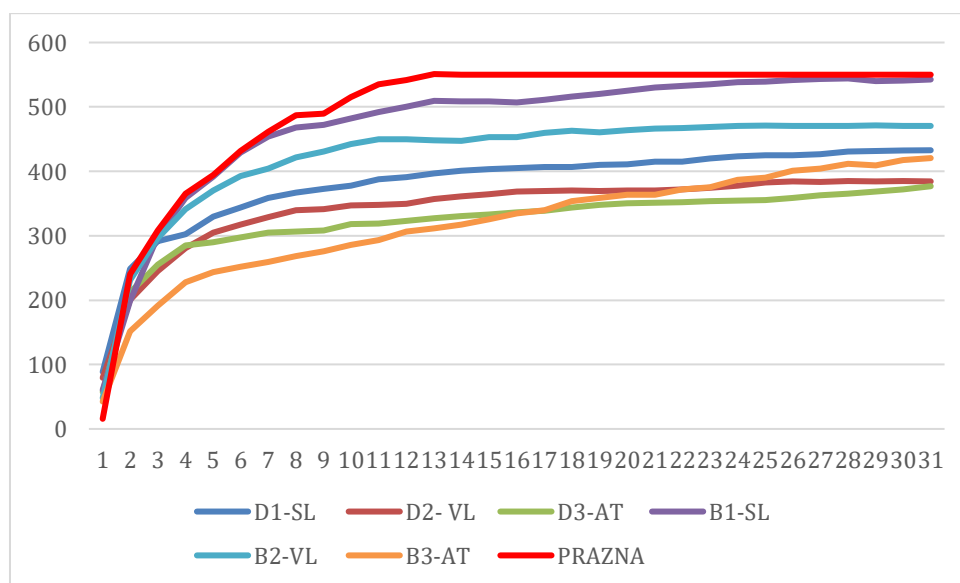
Graf 20. prikazuje rezultate protupožarnog ispitivanja s plamenikom za plinsko zavarivanje na uzorcima klase 30.

Analizom grafa 20. se vidi da su sve vrijednosti temperature doživjele eksponencijalni rast i da nije dolazilo do padanja ili raspršivanja temperatura za vrijeme ispitivanja. Svi uzorci imaju nagli rast na početku ispitivanja te postepeni rast do kraja ispitivanja.

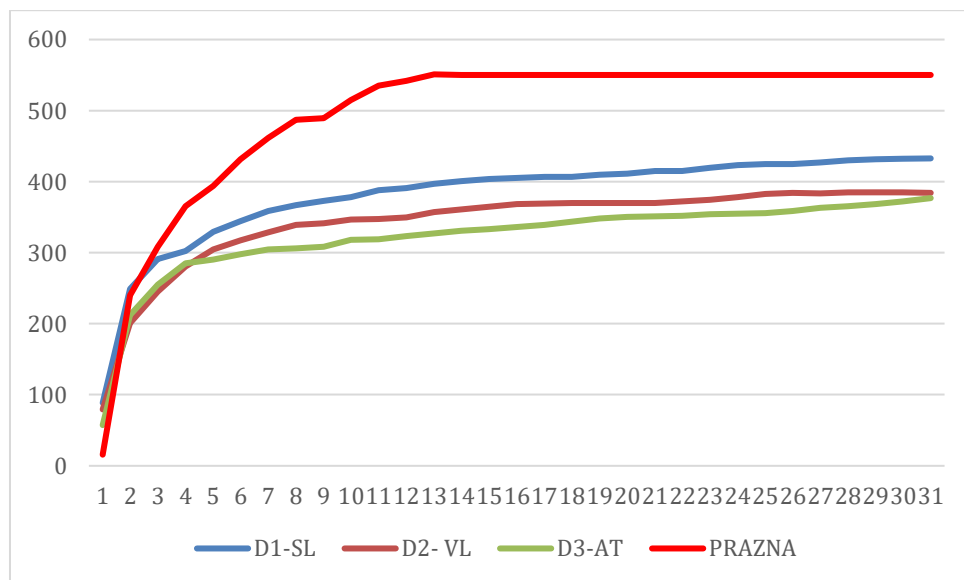
Niti jedan ispitni uzorak, osim B1, se nije približio temperaturi od 550 °C, što je iznenađujuće s obzirom na očekivanja i ranije provedene rezultate.

Na Grafu 21. i Grafu 22. su zasebno prikazani uzorci HEL30 i HEM30. Analizirajući navedene grafove se može doći do zaključka kako su temperature postignute paljenjem uzoraka ispitivanih pri atmosferskim uvjetima malo manje od onih ispitivanih u vlažnoj i slanoj komori.

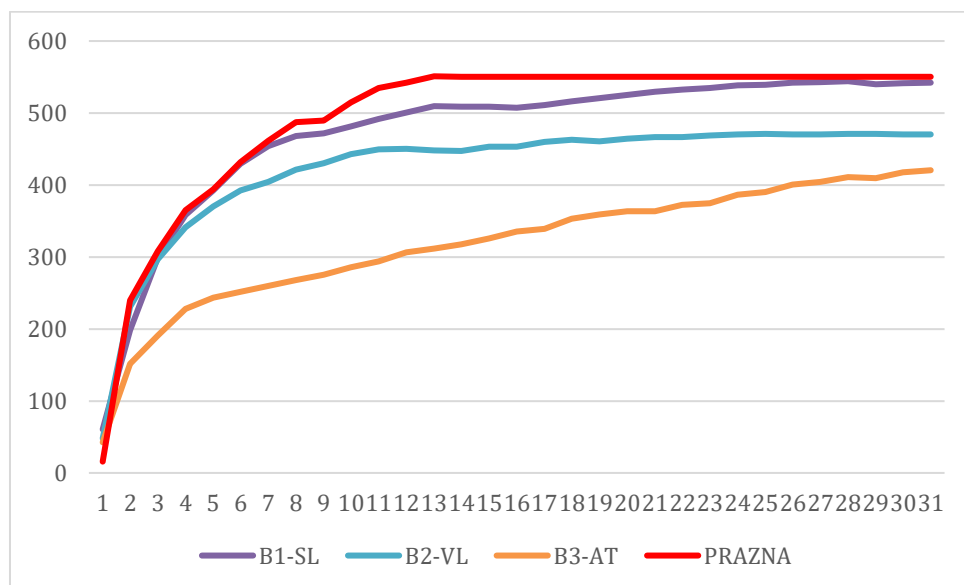
Iz navedenih grafova se može iščitati da ispitivanja u slanoj komori više utječu na ispitne uzorke naspram onih u vlažnoj komori. HEL30 kao i HEM30 imaju veća prosječna odstupanja između slane i vlažne komore, naspram vlažne komore i atmosferskih uvjeta.



Graf 20 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30



Graf 21 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30



Graf 22 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30

Graf 23.-25. prikazuju usporedbu temperaturnih rezultata ispitivanja protupožarnosti plamenikom za plinsko zavarivanje klase 30 za sva tri stanja.

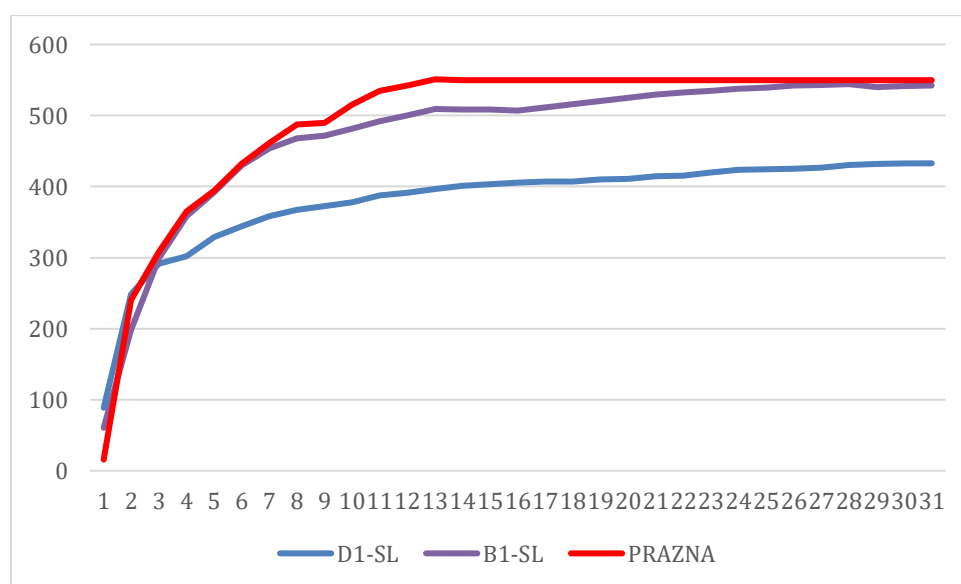
Analizom grafičkih rezultata se vidi kako se prilikom ispitivanja u slanoj komori iščitavaju jednake tendencije kao za klasu 60. Razlike temperatura s vremenom je konstantna, rast je eksponencijalan. Također je važno izdvojiti da je temperatura ispitnog uzorka B1 došla do granice dozvoljene temperature.

Rezultati vlažne komore su sukladni rezultatima ispitivanja u slanoj komori. Temperaturne razlike su konstantne s obzirom na vrijeme, linije su eksponencijalne, s malo manjom tendencijom rasta tokom vremena od slane komore.

S obzirom na prethodne dvije analize, nije za očekivati da rezultat ispitnog uzorka B3 ima manji eksponencijalni rast od D3. S vremenom B3 prelazi temperature ispitivanja D3 i ispitivanje završavaju s podjednakim tendencijama rasta.

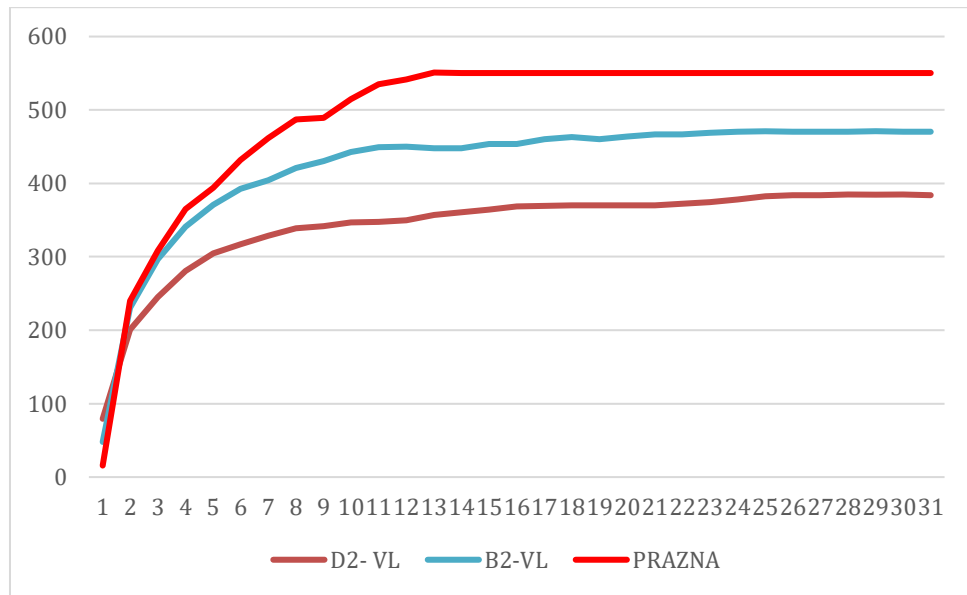
Analizom se utvrđuje kako su HEL30 premazi u sve tri ispitivanja tokom vremena imala tendenciju bolje izolacije ispitne pločice od HEM30 premaza, osim prve polovice ispitivanja pločica u atmosferskim uvjetima.

Ispitni uzorci iz atmosferskih uvjeta imaju najveću tendenciju daljnjeg rasta, a iz vlažne komore najmanju

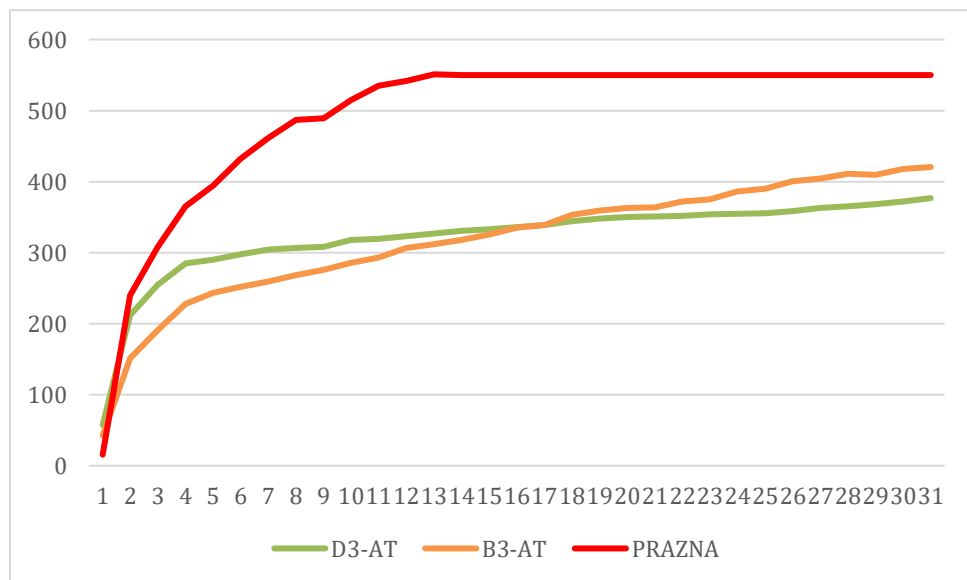


Graf 23 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzorka KLASA30 u slanoj komori





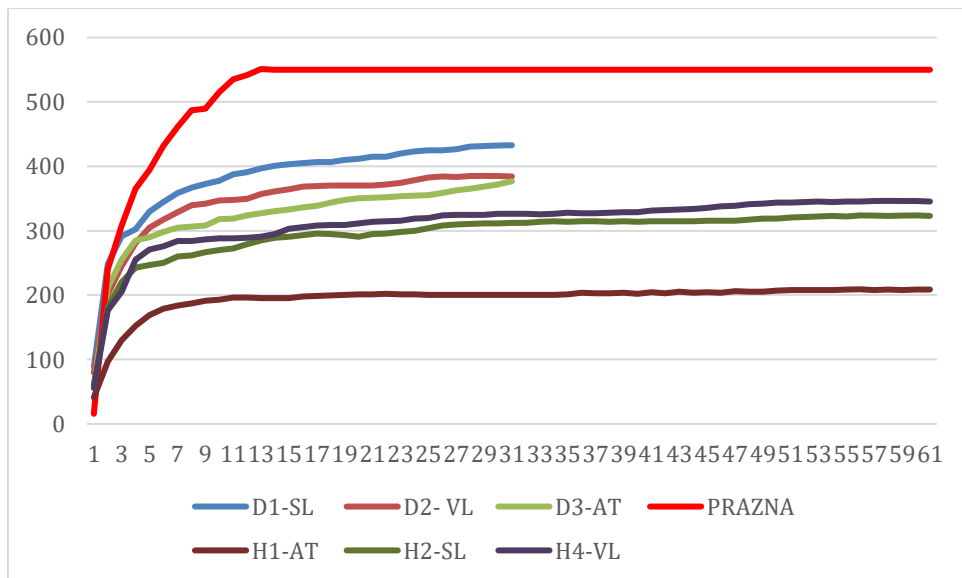
Graf 24 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30 u vlažnoj komori



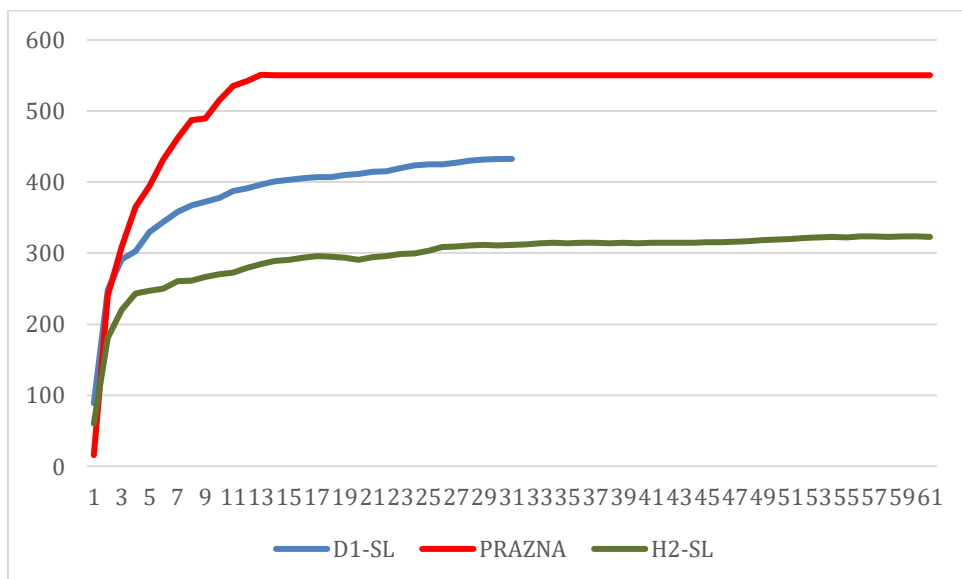
Graf 25 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30 pri atmosferskim uvjetima

### 8.8.3. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti HEL 30/60

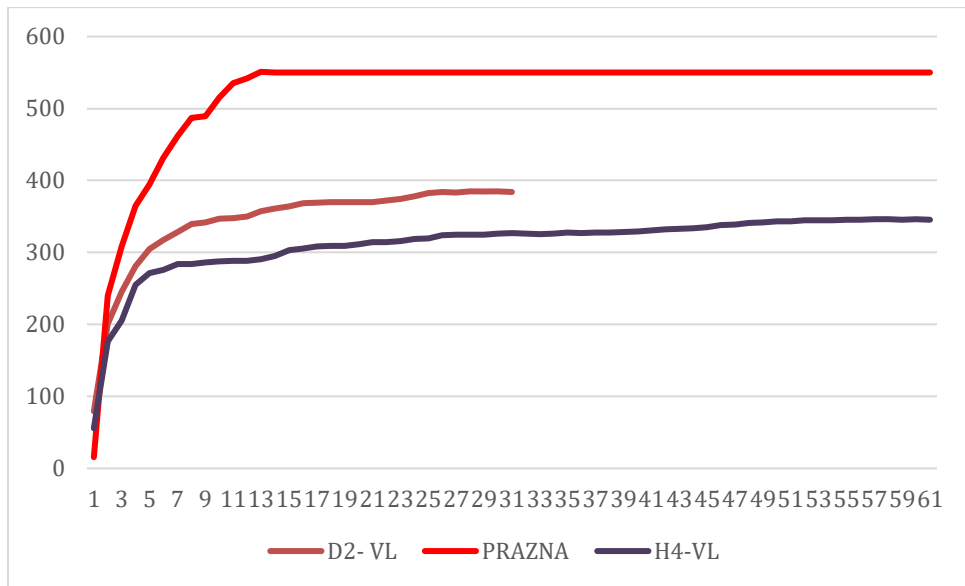
Graf 26. prikazuje usporedbu temperaturnih rezultata ispitivanja protupožarnosti plamenikom za plinsko zavarivanje HEL30 i HEL60 za sva tri stanja. Iz grafa se iščitava kako su temperature HEL30 uzoraka značajno više od HEL60, što je očekivano s obzirom na debljinu protupožarnog premaza. Na Graf 27.-29. se uspoređuju rezultata između HEL30 I HEL60 ispitnih uzoraka za svako stanje zasebno.



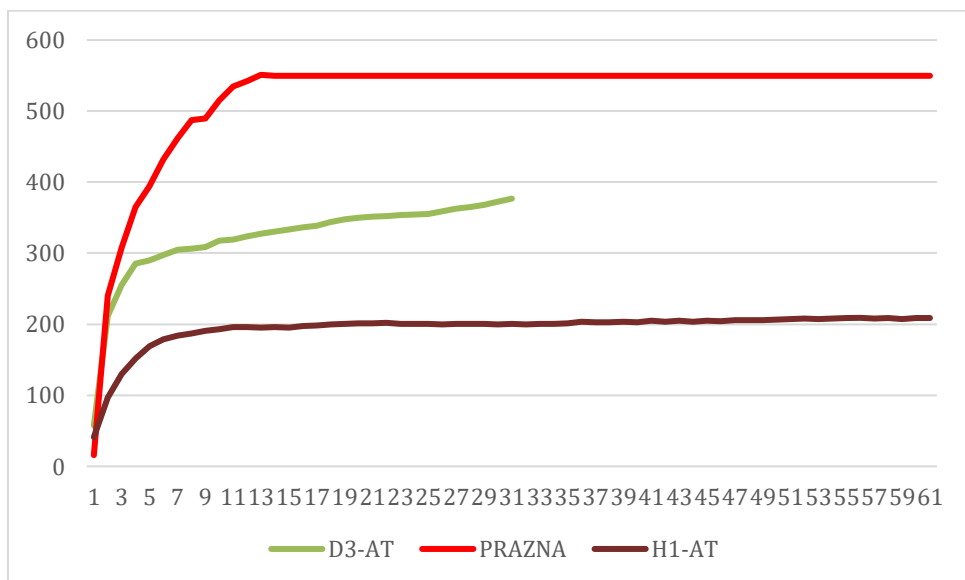
Graf 26 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60



Graf 27 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60 u slanoj komori



Graf 28 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60 u vlažnoj komori

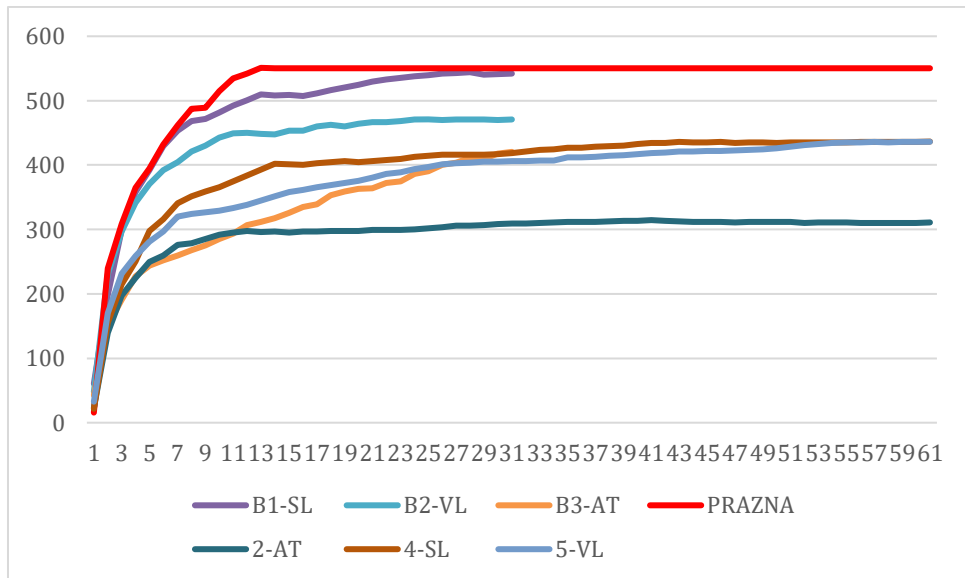


Graf 29 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEL30/60 pri atmosferskim uvjetima

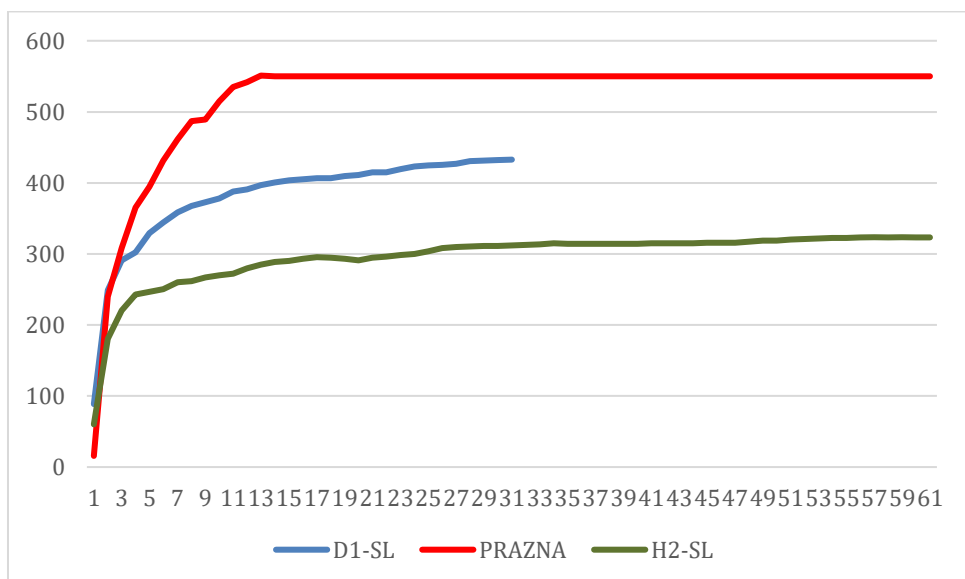
Analizom svih grafova se zaključuje kako su temperaturne razlike s vremenom podjednake u sva tri stanja i da ispitni uzorci HEL30 imaju veću tendenciju daljnjeg rasta naspram HEL60. Iz grafova proizlazi kako najnižu temperaturu u obje klase održavaju uzorci pri atmosferskim uvjetima. Najviša temperatura kao i tendencija rasta se razlikuju između klasa i uzoraka.

#### 8.8.4. Analiza rezultata ispitivanja protupožarnosti HEM 30/60

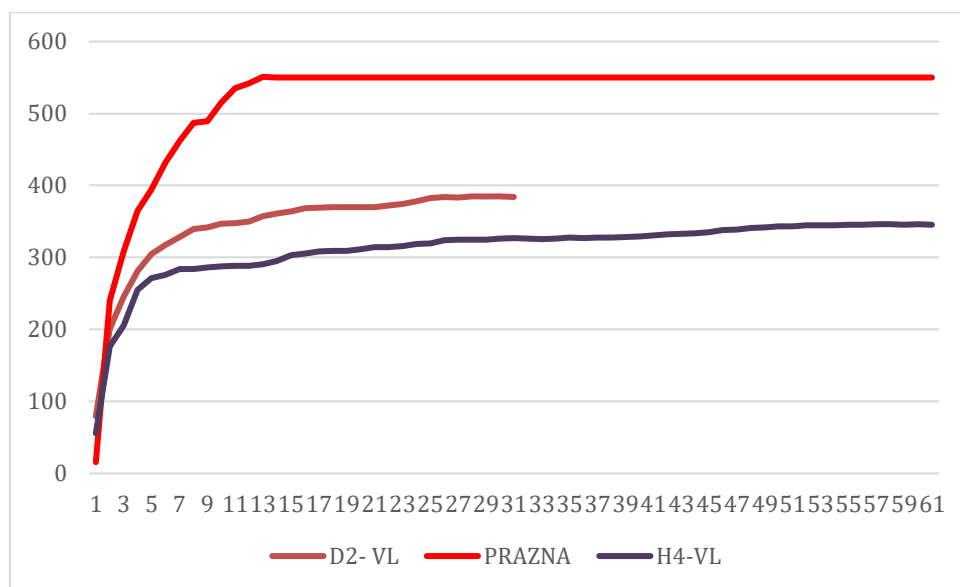
Graf 30. prikazuje usporedbu temperaturnih rezultata ispitivanja protupožarnosti plamenikom za plinsko zavarivanje HEM30 i HEM60 za sva tri stanja. Iz grafa se iščitava kako su temperature HEM30 uzoraka značajno više od HEM60, Osim u slučaju B3 uzorka koji doseže najvišu temperaturu u skladu s 4 i 5 ispitnim uzorcima.



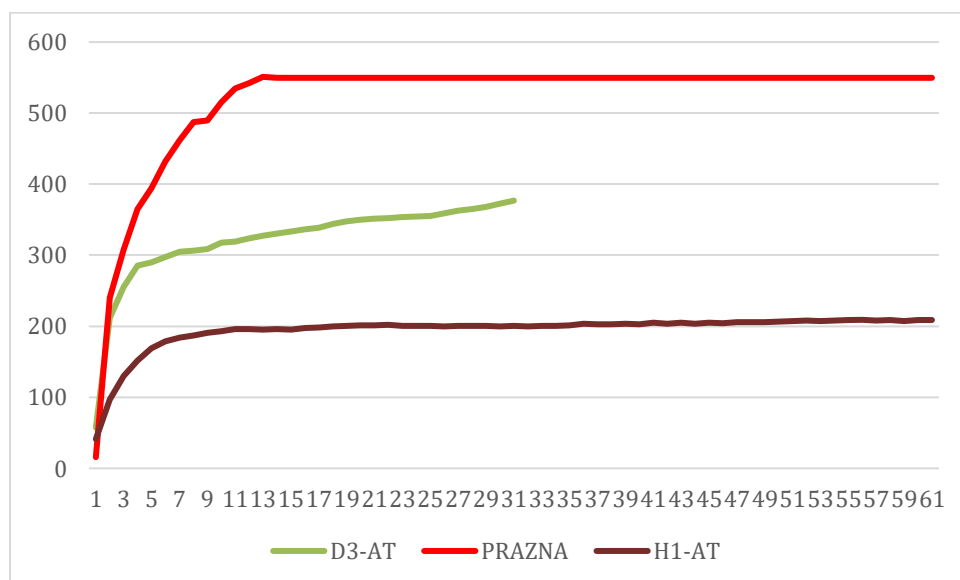
Graf 30 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60



Graf 31 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60 u slanoj komori



Graf 32 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60 u vlažnoj komori



Graf 33 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka HEM30/60 pri atmosferskim uvjetima

Analizom svih grafova se zaključuje kako temperaturne razlike s vremenom nisu podjednake u sva tri stanja, kao u HEL30/60 uzorcima, i da ispitni uzorci HEM30 imaju veću tendenciju daljnjeg rasta naspram HEM60.

Iz grafova proizlazi kako najnižu temperaturu u obje klase održavaju uzorci koji su bili izloženi atmosferskim uvjetima, a najvišu uzorci nakon ispitivanja u slanoj komori.

Tendencija rasta je podjednaka kod svih HEM uzoraka, osim kod B3 uzorka, čija je znatno izraženija.

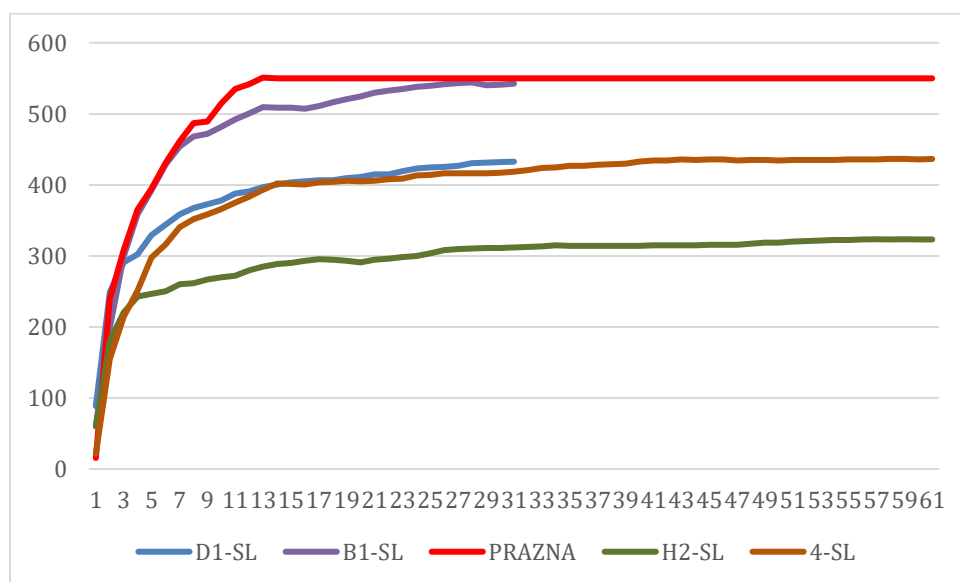
Grafovi 34.-36. prikazuju usporedbu temperaturnih rezultata ispitivanja protupožarnosti plamenikom za plinsko zavarivanje ispitnih uzoraka klase 30 i 60.

Analizom svih grafova se ponovno dokazuje utjecajnost debljine protupožarnog premaza na temperaturne rezultate kod istog proizvođača.

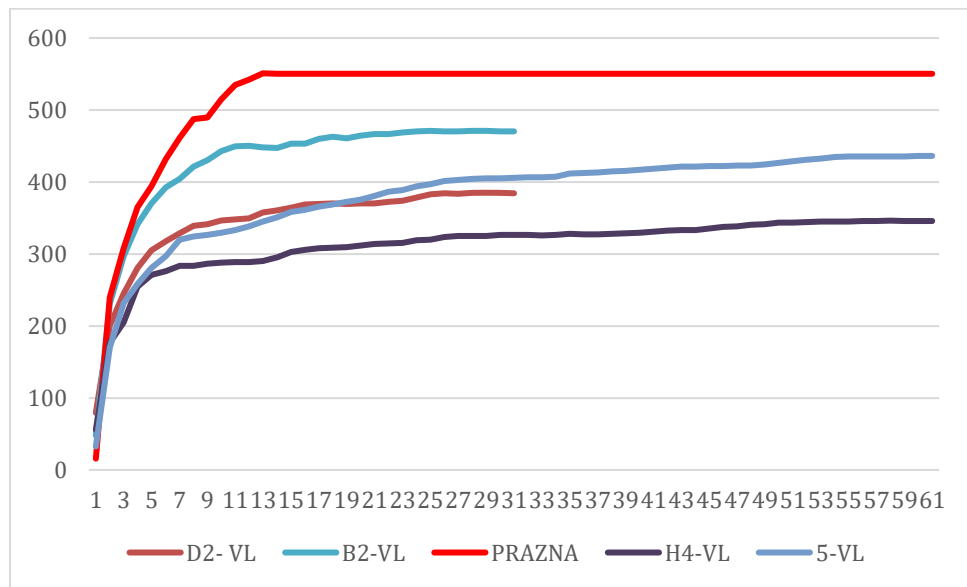
Kod ispitivanja u slanoj komori primjećujemo kako su temperature D1 i 4 ispitni uzorci podjednaki iako se radi o premazima dvije različite klase. Slični rezultati se zamjećuju i u rezultatima vlažne komore gdje su to pločice D2 i 5.

S obzirom na analizu se zaključuje kako su premazi proizvođača Helios klase 30 imali podjednake rezultate s premazima tvrtke Hempel klase 60 u svim uvjetima ispitivanja osim u atmosferskima.

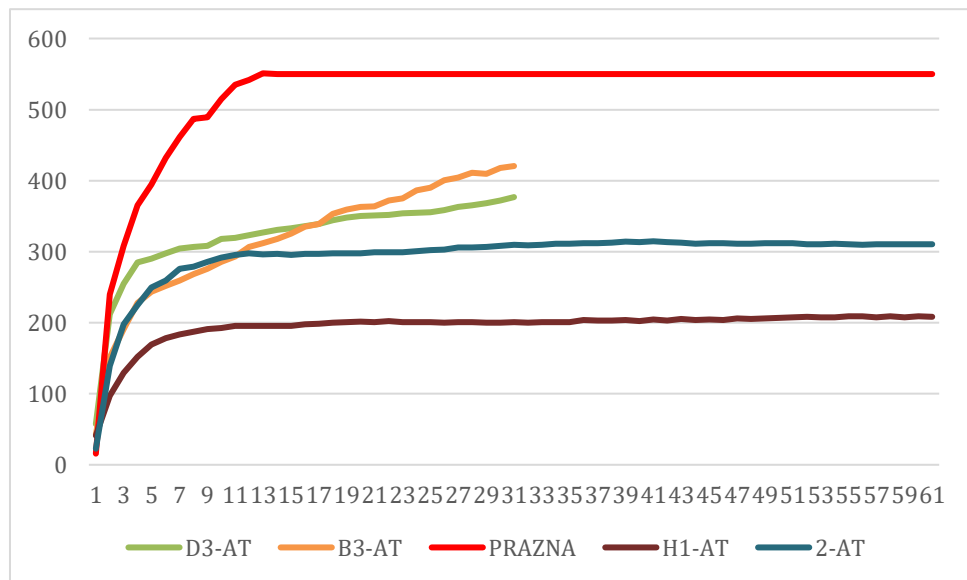
HEL premazi su u svim ispitivanjima zadržali niže temperaturne vrijednosti od HEM premaza iako imaju manje količine protupožarnog premaza, s time na umu se može reći, iako su svi zadovoljili uvjete, da su HEL premazi mnogo bolje odradili protupožarno ispitivanje u vidu mjerenja temperatura.



Graf 34 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30/60 u slanoj komori



Graf 35 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30/60 u vlažnoj komori



Graf 36 Izmjerene vrijednosti temperature (°C) kod zagrijavanja plamenikom za plinsko zavarivanje uzoraka KLASA30/60 pri atmosferskim uvjetima

## 8.9. ANALIZA ISPITIVANJA DEBLJINE PJENE

Usporedba rezultata ispitivanja debljine pjene i debljine protupožarnog premaza je prikazana na Grafu 37.

Rezultati su prikazani u mm zbog lakše vizualizacije količine pjene koja nastaje. Iz rezultata je vidljivo kako je jačina plamena značajno utjecala na količinu stvorene pjene, te su svi uzorci ispitivanja ručnim plamenikom dali manju količinu pjene od uzoraka ispitanih plamenikom za plinsko zavarivanje.

Na Grafu 38. prikazane su količine pjene nastale ispitivanjem ručnim plamenikom. Iz grafa se zaključuje kako su HEL premazi imali veće količine aktivne pjene naspram HEM premaza izloženih atmosferskim uvjetima. HEM premazi su stvorili šuplje kupole odnosno mjehure završnog premaza.

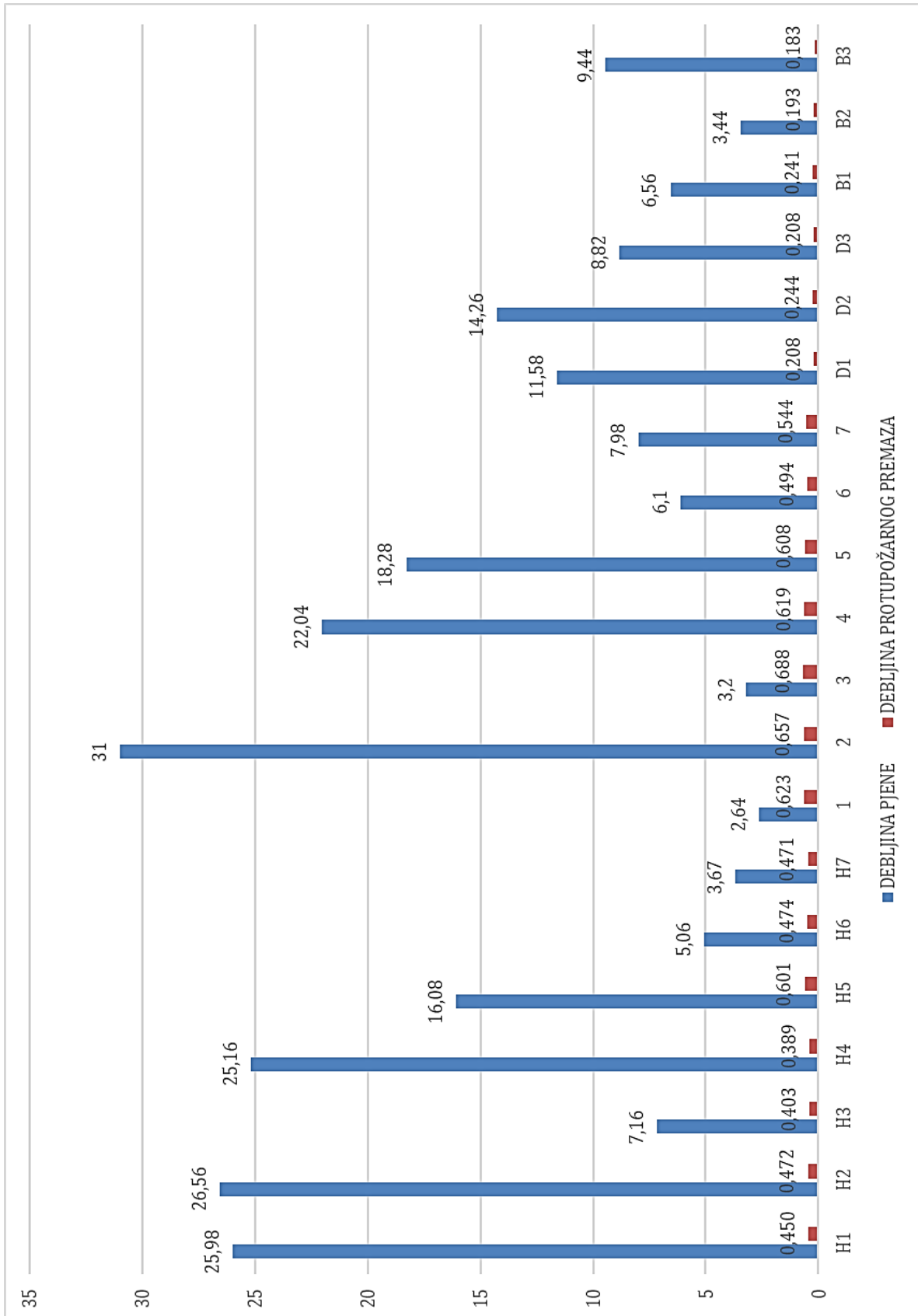
Iz rezultata proizlazi kako su HEL premazi imali veću pjenu na uzorcima koji su bili izloženi atmosferskim uvjetima, a HEM u komorama.

Graf 39. prikazuje količinu pjene nastale ispitivanjem plamenikom za plinsko zavarivanje. Iz rezultata se zaključuje da HEM premazi imaju veću količinu pjene u atmosferskim uvjetima, naspram HEL premaza čija se pjena bolje aktivira u uvjetima slane i vlažne komore.

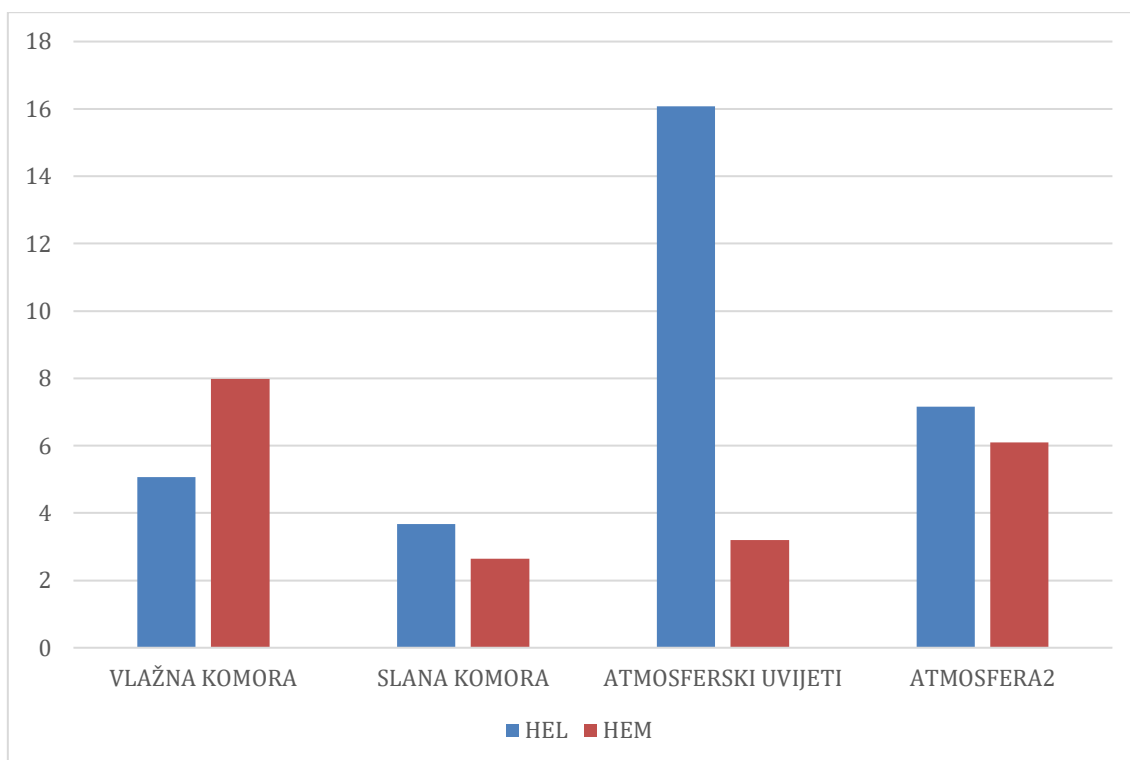
Analizom rezultata se zaključuje da je jačina plamena važan faktor u formiranju pjene, kao i količina protupožarnog premaza. Utjecaj vlažne i slane komore je različit za oba proizvođača i klase ispitivanja.

Premazi proizvođača Hempel iako su deblji nisu stvorili više pjene, osim na uzorcima izloženih atmosferskim uvjetima gdje rezultati nisu značajno veći.

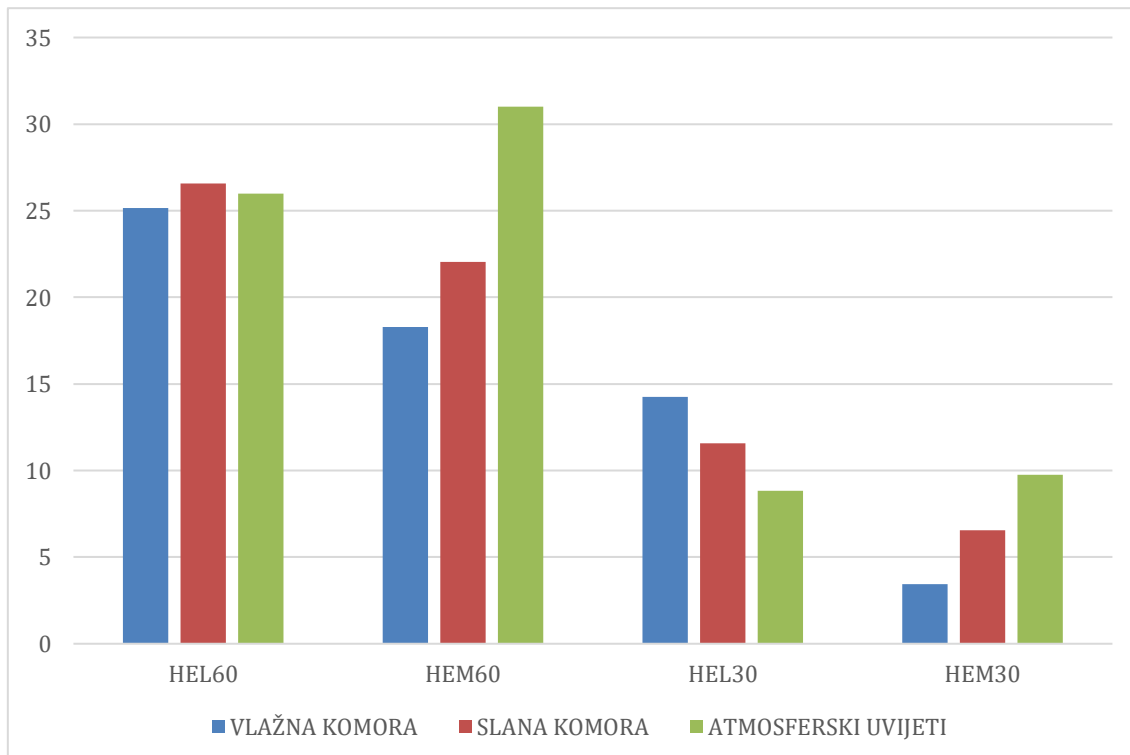




Graf 37 Usporedba rezultata debljine protupožarnog premaza i debljine pjene u mm



Graf 38 Rezultati debljine pjene nastale ručnim plamenikom u mm



Graf 39 Rezultati debljine pjene nastale plamenikom za plinsko zavarivanje u mm

## 9. ZAKLJUČAK

Protupožarni premazi su važan dio zaštite metalnih konstrukcija u kojima ljudi rade i žive. Njihova svojstva i mogućnost izolacije čeličnih konstrukcija uvelike pomažu u očuvanju stabilnosti konstrukcije kada je to najpotrebnije. Najbolji primjer potrebe za protupožarnim premazima je napad na „Blizance“, nebodere svjetskog trgovinskog centra (WTC) u New Yorku kada su čelične konstrukcije popustile pod utjecajem požara. Dodatnih 30 do 60 minuta očuvanja mehaničkih svojstava čelika je vjerojatno moglo spasiti na stotine osoba od tragedije.

Ovim radom se dokazala kohezija djelovanja protupožarnih premaza s epoksidnim temeljom i poliuretanskim završnim premazom. Epoksidni premaz je pridonio antikorozivnoj zaštiti i na još jedan način zaštitio čeličnu konstrukciju, dok je poliuretanski završni sloj štitio protupožarni premaz od vanjskih utjecaja, te stoga nije izgubio na svojstvima otpornosti na požar.

U radu su provedena opsežna ispitivanja protupožarnih sustava premaza od dva renomirana proizvođača, s nešto boljim rezultatima Helios protupožarnog sustava. Epoksidni temelji su podjednako otporni na sva ispitivanja, dok je Helios protupožarni premaz imao bolju tvrdoću, niže temperature podloge kao i postotno veći rast pjene s obzirom na debljinu premaza. Također, Helios poliuretanski završni premaz imao je nešto bolju postojanost nakon ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori kao i bolju prionjivost ispitanu X-cut metodom.

Nakon svih provedenih ispitivanja, oba sustava premaza su zadovoljili sve uvjete koji su stavljani pred njih, te su time opravdali očekivanja kao i specifikacije svojih proizvođača.

## 10. LITERATURA

- [1] V. Alar: Kemijska postojanost materijala, skripte, FSB, Zagreb, 2015.
- [2] <https://www.corrosionpedia.com/the-composition-of-a-paint-coating/2/3247>, pristupano 17.12.2023.
- [3] <https://www.performance-painting.com/blog/how-binders-work-in-industrial-coatings>, pristupano 17.12.2023.
- [4] T.W. Abraham, R. Höfer: A Comprehensive Reference, Polymer Science, 2012.
- [5] <https://www.essentialchemicalindustry.org/materials-and-applications/paints.html>, pristupano 18.12.2023.
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Bisphenol\\_A](https://en.wikipedia.org/wiki/Bisphenol_A), pristupano 18.2.2022.
- [7] <https://coatings.specialchem.com/selection-guide/acrylic-resins-for-coatings>, pristupano 19.12.2023.
- [8] [https://www.researchgate.net/Graf/General-formula-of-an-acrylic-polymer\\_fig1\\_259557895](https://www.researchgate.net/Graf/General-formula-of-an-acrylic-polymer_fig1_259557895), pristupano 20.12.2023.
- [9] Branko N. Popov: Organic Coatings, Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems, Elsevier, 2015.
- [10] <https://www.haihaopiping.com/advantage-and-disadvantage-of-polyurethane-coating-for-piping-products.html>, pristupano 19.12.2023.
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>, pristupano 19.12.2023.
- [12] <http://polymerdatabase.com/img/Silicone.png>, pristupano 20.12.2023.
- [13] <https://www.brenntag.com/en-ca/industries/coatings-construction/solvent-terminology/>, pristupano 17.12.2023.
- [14] <https://coatings.specialchem.com/selection-guide/pigments>, pristupano 17.2.2022.
- [15] <https://www.irocoatingadditive.com/introduction-additives-paints-coatings/>, pristupano 11.12.2023.
- [16] <https://coatings.specialchem.com/selection-guide/select-driers-for-high-solids-and-waterborne-coatings>, pristupano 7.12.2023.
- [17] [https://www.coatingsworld.com/issues/2016-12-01/view\\_features/biocides-fungicides-update/](https://www.coatingsworld.com/issues/2016-12-01/view_features/biocides-fungicides-update/), pristupano 17.12.2023.
- [18] <https://www.uniqchem.com/light-stabilization-technology/>, pristupano 18.12.2023.

- [19]<https://www.lubrizol.com/Coatings/Blog/2019/02/Surface-Modifiers-Deliver-Desired-Effects> , pristupano 18.12.2023.
- [20]<https://www.esaar.com/2018/10/04/what-are-the-differences-between-wetting-agents-and-dispersants/> , pristupano 17.12.2023.
- [21]Seminar Protupožarni premazi, Hrvatsko društvo za zaštitu materijala, Zagreb 16.10.2018 pristupano 19.12.2023.
- [22]Promat – Protupožarna zaštita nosivih čeličnih konstrukcija, brošura pristupano 19.12.2023.
- [23]Ivan Juraga, Vesna Alar, Ivan Stojanović: Korozija i zaštita premazima, FSB, Zagreb, 2014 pristupano 19.12.2023.
- [24]ETAG N 018 – Part 2 – Reactive coatings for fire protection of steel elements – EOTA pristupano 1.5.2024.
- [25]<https://www.siniat.hr/hr-hr/centar-znanja/148912/protupožarni-sustavi-u-suhjoj-gradnji/> pristupano 1.5.2024.
- [26]<https://www.elcometer.com/pub/media/contentmanager/content/456.pdf> pristupano 1.5.2024.
- [27]<https://www.scribd.com/document/636043010/ISO-4628-8-2012-EN> pristupano 1.5.2024.
- [28]<https://www.scribd.com/document/488347800/2-ISO-4628-2-2003-pdf> pristupano 1.5.2024.
- [29]<https://www.scribd.com/document/436837381/iso-16276-2-pintura-adherencia-en-X-pdf> pristupano 1.5.2024.