

# Protupožarni premazi

---

**Anlar, Dino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:961195>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-17**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

**DIPLOMSKI RAD**

# **Protupožarni premazi**

*Dino Anlar*

Zagreb, srpanj 2019.

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

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

Zahvaljujem se dipl.ing. Karli Rončević, Klaudiu Gržaniću, Anti Periši iz tvrtke HELIOS Hrvatska na pomoći, savjetima i na potrebnom materijalu za provođenje eksperimentalnog dijela ovog rada.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

**DIPLOMSKI ZADATAK**

Student: **DINO ANLAR** Mat. br.: **0035195053**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Protupožarni premazi**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Fire retardant coatings**

Opis zadatka:

Zaštita premazima spada u tehnologiju zaštite od korozije koja ima vrlo široku primjenu u metalnoj industriji, graditeljstvu i arhitekturi. Pored zaštite od korozije, premazi često moraju zadovoljiti i posebne zahtjeve u eksploataciji, kao što je to vatrootpornost. U radu je potrebno opširnije prikazati zaštitu premazima, opisati komponente u premazu i njihovu funkciju. Detaljnije obraditi protupožarne premaze, vrste protupožarnih premaza, te dati prednosti i nedostatke. Dati primjer projektiranja protupožarne zaštite premazima čelične konstrukcije jedne industrijske hale.

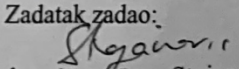
U eksperimentalnom dijelu zadatka potrebno je nanijeti protupožarne premaze u dvije debljine na uzorke od nelegiranog čelika i provesti usporedna ispitivanja. Ispitati vatrootpornost i otpornost prema koroziji u agresivnoj atmosferi u slanoj i vlažnoj komori. Odrediti prionjivost i tvrdoću premaza prije i nakon izlaganja u komorama. Kritički se osvrnuti na dobivene rezultate i navesti moguće područje primjene ispitanih premaza u protupožarnoj zaštiti metalnih konstrukcija.

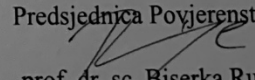
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
02. svibnja 2019.

Rok predaje rada:  
04. srpnja 2019.

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

Zadatak zadao:  
  
doc. dr. sc. Ivan Stojanović

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>13</b>
1.1. Općenito o koroziji .....	13
1.2. Neposredni troškovi korozije .....	14
1.3. Metode zaštite od korozije .....	15
1.4. Proizvodnja boja i lakova .....	15
1.5. Boja ili premaz .....	16
<b>2. Podjela premaza .....</b>	<b>17</b>
2.1. Premazi sa visokom suhom tvari .....	19
2.2. Vodotopivi i vodorazrjedivi premazi .....	20
2.3. Praškasti premazi .....	21
2.4. Premazi za sušenje zračenjem .....	23
2.5. Funkcionalni premazi .....	24
<b>3. Osnovne komponente premaza .....</b>	<b>25</b>
3.1. Aditivi .....	25
3.1.1. Okvašivači i disperzanti .....	26
3.1.2. Aditivi za poboljšanje površinskih svojstava .....	27
3.1.3. Sušila i katalizatori .....	27
3.1.4. Konzervansi .....	28
3.1.5. Svjetlosni stabilizatori .....	28
3.1.6. Korozijski inhibitori .....	28
3.2. Punila .....	29
3.3. Pigmenti .....	29
3.3.1. Kemijska struktura .....	30
3.3.2. Fizikalna struktura .....	30
3.3.3. Podjela pigmenata .....	30
3.4. Otapala .....	31
3.4.1. Svojstva otapala .....	33
3.4.2. Hlapivost .....	33
3.5. Veziva .....	34
3.5.1. Alkidi .....	35
3.5.1.1. Svojstva alkidnih premaza .....	35

3.5.1.2. Tipovi sušivih ulja i alkida .....	36
3.5.1.3. Prednosti alkida .....	37
3.5.1.4. Nedostatci alkida .....	37
3.5.2. EPOKSIDNE SMOLE .....	37
3.5.2.1. BISPHENOL A .....	38
3.5.2.2. BISPHENOL F .....	38
3.5.2.3. Multifunkcijske epoksi smole .....	39
3.5.3. AKRILNE SMOLE .....	39
3.5.3.1. Prednosti vodenih disperzija akrilnih smola .....	40
3.5.3.2. Nedostatci vodenih disperzija akrilnih smola .....	40
3.5.4. VINILNE SMOLE .....	41
3.5.4.1. Prednosti vinilne smole .....	42
3.5.4.2. Nedostatci vinilne smole .....	42
3.5.5. POLIURETANI .....	42
3.5.5.1. Prednosti dvokomponentnih poliuretana .....	43
3.5.5.2. Nedostatci dvokomponentnih poliuretana .....	44
3.5.6. POLISILOKSANI .....	44
3.5.6.1. Upotreba polisiloksanskih smola .....	45
<b>4. Projektiranje zaštite čeličnih konstrukcija od korozije premazima.....</b>	<b>46</b>
<b>5. Protupožarni premazi .....</b>	<b>48</b>
5.1. Usporedba sustava otpornosti premaza na celulozni požar i požara uzrokovanog sagorijevanjem ugljikovodika .....	50
5.2. Protupožarni sustav premaza .....	51
5.3. Sastav protupožarnih premaza .....	52
5.4. Postupak stvaranja ekspanzirajućeg sloja .....	52
5.5. Ispitivanje protupožarne zaštite prema normi ETAG 018-2 .....	54
<b>6. Projektiranje protupožarnog sustava.....</b>	<b>55</b>
6.1. Primjer proračuna debljina i vrste antikorozivnog sustava za protupožarnu zaštitu čelične konstrukcije Osnovne škole .....	59
6.1.1. Čelični profili .....	60
6.1.2. Odabir sustava i proračun debljina suhog filma .....	61
6.1.3. Antikorozivna zaštita čelične konstrukcije .....	63
6.1.4. Priprema površine .....	63
<b>7. Eksperimentalni dio .....</b>	<b>66</b>
7.1. Priprema uzoraka .....	66
7.2. Nanošenje temeljnog premaza .....	68

7.3. Nanošenje vatrootpornog premaza .....	75
7.4. Nanošenje završnog premaza .....	78
7.5. Ispitivanje u slanoj komori .....	81
7.6. Ispitivanje u vlažnoj komori .....	83
7.7. Ispitivanje prionjivosti .....	85
7.8. Vizualna ocjena propadanja prevlaka prema normi ISO 4628 .....	88
7.8.1. Ispitivanje korozije oko ureza .....	88
7.8.2. Ispitivanje pucanja premaza .....	89
7.8.3. Ocjena stupnja mjehuranja .....	89
7.8.4. Rezultati mjerenja .....	90
7.9. Ispitivanje protupožarnosti .....	91
<b>8. Analiza rezultata .....</b>	<b>97</b>
8.1. Ispitivanje prionjivosti premaza .....	97
8.2. Ispitivanje na vatrootpornost .....	98
<b>9. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>103</b>
<b>10. LITERATURA .....</b>	<b>104</b>
<b>11. PRILOZI .....</b>	<b>105</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Podjela premaza prema vrsti otapala [5].....	17
Slika 2.2. Podjela premaza prema načinu stvaranja filma [5].....	18
Slika 2.3.1. Podjela praškastih premaza [5] .....	22
Slika 3.1. Komponente premaza [6].....	25
Slika 3.3.3.1. Podjela pigmenata [5] .....	31
Slika 3.5.1.1. Kemijska struktura alkidne smole [8] .....	35
Slika 3.5.2.1. Jedinica polimera epoksida [5].....	38
Slika 3.5.3.1. Shematski prikaz jedinice polimetakrilata i poliakrilata [5] .....	40
Slika 3.5.5.1. Shematski prikaz reakcije izocijanata s hidroksilnim grupama. [9] .....	43
Slika 3.5.6.1. Shematski prikaz jedinice polisiloksana [9].....	45
Slika 5.1. Krivulje celuloznog i ugljikovodičnog požara. [10] .....	49
Slika 5.2. Učinak ekspandirajućih premaza [10].....	49
Slika 5.2.1. Shematski prikaz protupožarnog sustava na čeličnom profilu.....	51
Slika 5.4.1. Stvaranje izolacijske pjene pri izlaganju vatri [11].....	53
Slika 5.4.2. Ekspandirajući premaz nakon reakcije [11].....	53
Slika 6.1 Kutijasti i profilirani oblik zaštite čelične grede [11] .....	56
Slika 6.2. Funkcija otpornosti – R [10] .....	57
Slika 6.3. Funkcija integriteta – E [10] .....	58
Slika 6.4. Funkcija toplinske izolacije – I [10].....	58
Slika 6.5. Razvoj temperature u čeličnom elementu [10] .....	59
Slika 6.1.1.1. Vrste profila koji se mogu štititi protupožarnim premazima. [11].....	60
Slika 6.1.2.1. Nacrt željezne konstrukcije dvorane Osnovne škole .....	61
Slika 6.1.4.1. Prijenosni uređaj za pjeskarenje [12] .....	64
Slika 7.1.1. Ispitna pločica dimenzija 100 mm x 150 mm x 5 mm.....	66
Slika 7.1.2. ELCOMETER 224 – mjerenje hrapavosti površine .....	67
Slika 7.2.1. Uzorci u peći za ubrzano sušenje.....	73
Slika 7.2.2. Uređaj za mjerenje debljine suhog filma „ELCOMETER 456“.....	74
Slika 7.2.3. Uzorci u komori na sobnoj temperaturi .....	75
Slika 7.3.1. Nanošenje vatrootpornog premaza PROMAPAIN SC4, Chromos Zagreb.....	76
Slika 7.3.2. Nanošenje i sušenje premaza PROMAPAIN SC4 Klase R60.....	77
Slika 7.5.1. Slana komora, HELIOS Slovenija .....	81



Slika 7.6.1. Vlažna komora, HELIOS Slovenija.....	83
Slika 7.7.1. Pull off metoda.....	85
Slika 7.7.2. Rezultati mjerenja uzoraka Pull-off metodom nakon slane komore.....	86
Slika 7.7.3. Rezultati mjerenja uzoraka Pull-off metodom nakon vlažne komore.....	86
Slika 7.7.4. Rezultati mjerenja uzoraka Pull-off metodom - etaloni.....	87
Slika 7.8.1.1. Urez na uzorku prije (lijevo ) i nakon (desno) izlaganja slanoj komori.....	88
Slika 7.8.2.1. Uzorak prije i nakon izlaganja slanoj komori .....	89
Slika 7.8.3.1. Ispitivanje mjehuranja površine premaza prije i slane komore.....	89
Slika 7.9.1. Izlaganje uzoraka na otvoreni plamen.....	91
Slika 7.9.2. Mjerenje prirasta temperature pozadine uzorka pirometrom .....	92
Slika 7.9.3. Gorenje uzorka broj 1.....	95
Slika 7.9.4. Izgled uzoraka nakon ispitivanja izlaganja otvorenom plamenu .....	95
Slika 7.9.5. Ekspanzija vatrootpornog premaza uzorka 5. ....	96
Slika 8.1.1. Rezultati mjerenja prionjivosti premaza .....	97
Slika 8.2.1. Usporedba prirasta temperature uzorka 1 klase R30.....	98
Slika 8.2.2. Usporedba prirasta temperature uzorka 2 klase R30.....	99
Slika 8.2.3. Usporedba prirasta temperature uzorka 3 klase R30.....	99
Slika 8.2.4. Usporedba prirasta temperature uzorka 4 klase R60.....	100
Slika 8.2.5. Usporedba prirasta temperature uzorka 5 klase R60.....	101
Slika 8.2.6. Usporedba prirasta temperature uzorka 6 klase R60.....	102

## POPIS TABLICA

Tablica 1.3.1. Najveći svjetski proizvođači boja i lakova 2018. [4] .....	15
Tablica 2.1.1. Usporedba prednosti i nedostataka premaza s visokom suhom tvari [5] .....	20
Tablica 2.2.1. Prednosti i nedostaci vodotopivih i vodorazrjedivih premaza [5].....	21
Tablica 2.3.1. Prednosti i nedostaci praškastih premaza [5] .....	22
Tablica 2.4.1. Prednosti i nedostaci premaza za sušenje zračenjem [5].....	23
Tablica 3.3.3.1. Usporedba karakterističnih svojstava organskih i anorganskih pigmenata....	31
Tablica 3.4.1. Podjela disperzija prema veličini čestice.....	32
Tablica 5.1.1. Usporedba nanošenja premaza u odnosu na vrstu požara [11] .....	50
Tablica 6.1. Usporedba faktora profila nosača [11] .....	57
Tablica 6.1.2.1. Popis čeličnih profila i zahtjevi na protupožarnost .....	61
Tablica 6.1.2.2. Popis čeličnih profila i zahtjevi na protupožarnost sa faktorima profila.....	62
Tablica 6.1.2.3. Minimalne debljine suhog filma.....	62
Tablica 6.1.4.1. Procjena kvalitete pjeskarene površine, norma ISO 8501-1 .....	65
Tablica 7.1.2. Rezultati mjerenja hrapavosti površine .....	67
Tablica 7.2.1. Uzorci .....	68
Tablica 7.2.2. Tehničke karakteristike korištenih premaza tvrtke HELIOS .....	68
Tablica 7.2.3. Priprema temeljnog premaza HELIOFAST 11-30.....	69
Tablica 7.2.4. Priprema temeljnog premaza HELIOPOX 10-10 .....	69
Tablica 7.2.5. Oprema za nanošenje premaza .....	70
Tablica 7.2.6. Mjerenje parametara.....	70
Tablica 7.2.7. Nanošenje premaza.....	71
Tablica 7.2.9. Vrijednosti debljine suhog filma premaza.....	74
Tablica 7.3.1. Vrijednosti debljina suhog filma nakon nanošenja protupožarnog premaza ....	78
Tablica 7.4.1. Vrijednosti debljina suhog filma nakon nanošenja završnog sloja .....	79
Tablica 7.4.2. Pregled svih uzoraka korištenih u ispitivanjima.....	80
Tablica 7.5.1. Dozvoljeni gubitak mase cinkovih i čeličnih uzoraka tijekom korozivskih ispitivanja provedenih u slanoj komori. ....	81
Tablica 7.5.2. Uzorci prije i nakon izlaganja slanoj komori. ....	82
Tablica 7.6.1. Uzorci prije i nakon izlaganja vlažnoj komori. ....	84
Tablica 7.7.1. Rezultati ispitivanja prionjivosti .....	87
Tablica 7.8.4.1. Rezultati ispitivanja u slanoj komori nakon 240h .....	90
Tablica 7.8.4.1. Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori nakon 120h.....	90



Tablica 7.9.1. Porast temperature uzoraka klase otpornosti R30 .....	92
Tablica 7.9.2. Porast temperature uzoraka klase otpornosti R60 .....	92
Tablica 7.9.3. Debljine ekspanzije premaza nakon izlaganja plamenu.....	94

**POPIS OZNAKA**

BDP	Bruto domaći proizvod	/
VCI	Volatile corrosion inhibitor (hlapivi inhibitor korozije)	/
PUR	Poliuretan	/
HOS	Hlapivi organski spoj	/
DSF	Debljina suhog filma	μm
DMF	Debljina mokrog filma	μm
2K	Dvokomponentni	/
1K	Jednokomponentni	/

## SAŽETAK

Diplomski rad sastoji se od teorijskog i eksperimentalnog dijela.

U teoretskom dijelu rada pobliže je objašnjen sastav premaza, njegovo djelovanje na površinu i vrste premaza. Također, prikazan je pregled metoda zaštite od korozije, te su detaljnije prikazani neposredni troškovi uzrokovani korozijom. Detaljnije je opisan protupožarni premaz za zaštitu čeličnih konstrukcija te je obrađen sustav zaštite protupožarnim premazom. Primjerom zaštite pasivnim protupožarnim sustavom na školskoj dvorani dan je realni prikaz izračuna faktora profila i debljine suhog filma protupožarnog premaza za klase otpornosti R30 i R60.

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su ispitivanja debljine premaza, ispitivanja u slanoj komori, ispitivanja u vlažnoj komori, ispitivanja prionjivosti, ispitivanja vatrootpornosti te ispitivanja prema normi ISO 4628. Cilj ispitivanja bio je utvrditi otpornost protupožarnog premaza na otvoreni plamen nakon izlaganja korozivnim uvjetima ovisno u sustavu antikorozivne zaštite koja se primjenjivala u sustavu sa protupožarnim premazom. Svaki uzorak je premazan temeljnim premazom, vatrootpornim premazom i završnim premazom. Ispitane su dvije skupine uzoraka, jedna klase otpornosti R30 i jedna klase otpornosti R60.

Ključne riječi: korozija, zaštita od korozije, vatrootporni premaz, protupožarni premaz

## **ABSTRACT**

This graduate thesis consists of two parts: theoretical and experimental.

In theoretical part of the thesis, the definition of coatings and its effects on the surface is explained more precisely. Also, an overview of the corrosion protection and costs caused by corrosion is given. A fire protection coatings are explained more detailed and one example of fire protection on steel construction is given. Example of passive fire protection on school hall gives a realistic view of the profile factors and the thicknesses of dry film of the fire resistance coatings for R30 and R60.

In experimental part of the thesis, dry film coating thickness are measured. Tests in the salt spray and humidity chamber are concluded. Adhesion test with Pull-off method, fire protection test were carried out and examinations according to the ISO 4628. Each sample is coated with a primer, fireproof coating and finish coat. Two groups of samples are tested, one with the fireproof resistance class of R30 and with the fireproof resistance class R60.

**Key words:** corrosion, corrosion protection, fireproof coatings

## 1. UVOD

Korozija je danas jedan od razloga zbog kojeg je nastala kriza materijala i energije, a to dovodi do znatnih gubitaka u gospodarstvu svake zemlje. Stoga se sve više pažnje pridodaje zaštiti metala od korozije zbog povećane upotrebe metala u svim područjima tehnologije. Također, zbog većeg korištenja metalnih konstrukcija i sve tanjih stjenki koje ne toleriraju korozijske napade jednako kao i teške konstrukcije. Od svih metala čelik se najviše koristi za izradu metalnih konstrukcija. Metalne konstrukcije su izložene vrlo različitim korozivnim sredinama. Uz današnji razvoj, postoje sve veći zahtjevi na kvalitetu i dugovječnost metalnih konstrukcija, a što uključuje i vatrootpornost materijala. Najzastupljenija metoda zaštite čeličnih konstrukcija od korozije je primjenom premaza. Tako se koriste i protupožarni premazi koji štite konstrukciju ne samo od korozije već i od požara te pružaju dodatnu kvalitetu zaštite.

### 1.1. Općenito o koroziji

Korozija (lat. *corrodere*, nagrizati) u tehničkom smislu je nepoželjno trošenje konstrukcijskih metala kemijskim djelovanjem okoline. Kemijskim procesom između barem jedne faze ili komponente metala i barem jedne komponente okoline događa se korozija u neelektrolitima ili kemijska korozija. Posljedica su spojevi – najčešće oksidi ili sulfidi. Javlja se u vrućim plinovima, (npr. dimni plinovi ) i u nevodnim tekućinama (goriva, maziva) koja ne provode električnu struju.

U praksi je češći slučaj elektrokemijske ili korozije u elektrolitima kada se atom metala gubitkom elektrona pretvara u slobodni ion. To je tzv. redoks – proces u kojem nastaje oksidacija – ionizacija metala. Primarni produkt je slobodni metalni kation. Istovremeno se odvija proces redukcije – prihvaćanja slobodnih elektrona (depolarizacija). Elektrokemijska korozija nastaje u prirodnoj i tehničkoj vodi, u vodenim otopinama kiselina, lužina, soli i drugih tvari, u tlu, u atmosferi itd. Atmosfera, doduše, nije elektrolit, ali uslijed kondenzata koji nastaje na metalnoj površini uslijed vlažnosti zraka, stvara se elektrolit i pokreće elektrokemijski korozijski procesi. [1]

## 1.2. Neposredni troškovi korozije

Kako su svi konstrukcijski metali u određenim okolnostima podložni koroziji, u gospodarstvu nastaju znatni gubici. Prema istraživanju iz 2015. godine IMPACT studije, a podržala ga je strukovna udruga NACE-International, troškovi zbog korozije u SAD-u koji obuhvaćaju metode zaštite, popravke i zamjenu dostižu do 2,7 % BDP-a što je oko 451 milijarda američkih dolara, odnosno oko 1380 USD godišnje po stanovniku, što je povećanje od 38% u odnosu na istraživanje iste organizacije 2003. godine. Istraživanja su također pokazala i da se 25-30 % troškova može izbjeći primjenom primjerenije metode ili tehnologije zaštite od korozije. [2]

Korozija je predmet znanstvenog izučavanja već više od 150 godina. Korozija je prirodni fenomen najčešće definiran kao propadanje materijala (u prvom redu metala) ili njihovih svojstava uslijed reakcije s okolišem. Poput i ostalih prirodnih nedaća poput potresa ili vremenskih neprilika, korozija može uzrokovati opasne, velike i vrlo skupe štete. NACE International procjenjuje da na globalnoj godišnjoj razini te štete iznose 2,5 trilijuna američkih dolara tj. oko 3,4% svjetskog BDP-a. Za razliku od drugih prirodnih pojava, koroziju uz pomoć provjerenih metoda zaštite možemo usporiti i učinkovito spriječiti što ima veliki utjecaj na sigurnost, gospodarstvo i okoliš. [2]

Za Hrvatsku podatak o troškovima izazvanim korozijom službeno ne postoji, no studija IMPACT, strukovne udruge NACE International, pokazuje da troškovi izazvani korozijom na razini Europske Unije iznose 640 milijardi USD, odnosno 3,8% ukupnog BDP-a EU. S obzirom na podatak za Europsku Uniju, može se otprilike izračunati i trošak korozije na gospodarstvo Hrvatske. BDP Hrvatske 2017. godine iznosio je 51,5 milijardi USD. 3,8% BDP-a iznosi 2,25 milijardi USD, odnosno 12,5 milijardi kuna. To iznosi oko 3.000,00 HRK godišnje po stanovniku.[2]



### 1.3. Metode zaštite od korozije

S obzirom na neposredne troškove korozije, valja spomenuti i metode zaštite kojima se može spriječiti barem jedan dio neposrednih troškova uzrokovanih korozijom. Metode zaštite možemo podijeliti na 5 osnovnih. To su:

- Prevlake (metalne i nemetalne)
- Elektrokemijske metode zaštite (metal se održava u pasivnom stanju ili u imunom stanju, npr. katodna zaštita)
- Zaštita od korozije promjenom okolnosti (npr. primjena inhibitora korozije)
- Oblikovanje i konstrukcijske mjere
- Odabirom konstrukcijskih materijala (gledište korozijske postojanosti).

### 1.4. Proizvodnja boja i lakova

Za jasniju sliku današnje svjetske situacije može se navesti podatak da je ukupna svjetska proizvodnja boja i lakova godine 2018. iznosila 193 milijarde US dolara u koju je bilo uključeno preko 17.000 aktivnih kompanija. Ta je industrija u porastu s 3,7% godišnjim prirastom proizvodnje. U tablici 1.3.1 može se uočiti 10 najvećih svjetskih proizvođača boja i lakova. [3][4]

Tablica 1.3.1. Najveći svjetski proizvođači boja i lakova 2018. [4]

R. br.	Naziv	Godišnji prihod u milijardama USD	Zemlja
1.	PPG	14,80	SAD
2.	The Sherwin – Williams Co.	11,82	SAD
3.	AkzoNobel	11,50	Nizozemska
4.	Nippon Paint Holdings Co.	5,20	Japan
5.	RPM International Inc.	4,96	SAD
6.	Axalta Coating Systems	4,40	SAD
7.	BASF Coatings	3,97	Njemačka
8.	Kansai Paint Co. Ltd.	3,80	Japan
9.	Asian Paints Ltd.	2,30	Indija
10.	Jotun	2,00	Norveška

## 1.5. Boja ili premaz

Razlika između boje i premaza nije velika. Izrazi se međusobno često zamjenjuju, a posebno zamršenu situaciju čini višeznačje izraza premaz, a isto tako i boje.

Premaz je općenitiji opis materijala (obično tekućeg), koji primijenjen na podlogu stvori „suhi“ film. Izraz boja tradicionalno se koristi u ovom području za opis pigmentnih materijala drugačijih od bezbojnih filmova koje nazivamo lakovi. Uobičajeno se u praksi izraz boja ograničava na premaze u graditeljstvu, a katkada i na premaze za obnavljanje mostova i rezervoara. Naziv premaz u praksi je „rezerviran“ za sofisticiranije materijale kao što su autolakovi, lakovi za kućanske aparate, za komponente računala i sl., jer se smatra da boja u tom slučaju zvuči „prejednostavno“. Način na koji definiramo premaze bazira se na uobičajenom korištenju izraza u poslovnom svijetu, pa tako razlikujemo tri kategorije [5]:

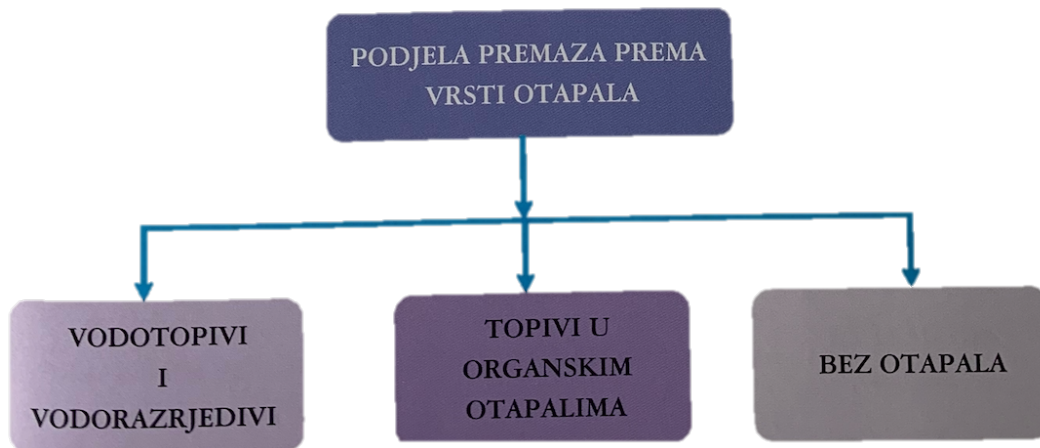
- premazi u graditeljstvu ili dekorativni premazi
- proizvodni i industrijski premazi
- premazi za specijalne namjene.

Premazi u graditeljstvu uključuju boje uporabljene za dekoraciju i zaštitu zgrada izvana i iznutra. Oni također uključuju i druge boje i lakove za uporabu u kući i malim radionicama, za kućni namještaj i ostalu namjenu. Proizvodni ili industrijski premazi koriste se u tvornicama, za tzv. „prvu ugradnju“ na proizvodima kao što su automobili, kućanski aparati, industrijski namještaj, ambalažni lakovi.

Premazi za specijalne namjene označuju industrijske premaze koji se ne primjenjuju na tvorničkim linijama, te neke druge premaze kao npr. aerosole. Oni uključuju reparaturne autolakove, premaze za brodove (antivegetativni premazi), mostove, rezervoare za skladištenje, premaze za kemijska postrojenja, protupožarne premaze i sl. Budući da je jednoslojnim premazom teško, gotovo ne moguće obuhvatiti sve zahtjeve, kao što su prijanjanje, korozijska zaštita, elastičnost, tvrdoća, dekorativni učinak, obojenje i otpornost na vremenske uvjete i kemikalije, primjenjuju se sustavi premaza različitog sastava i zadataka.

## 2. Podjela premaza

Upravo su sastav, način stvaranja filma, otapala, funkcija primjene ključni elementi prema kojima dijelimo premaze. Na slici 2.1. može se vidjeti podjela premaza prema vrsti otapala. Također, važno je upoznati se s podjelom premaza prema načinu stvaranja filma i prema zadatku u sustavu premaza zbog lakšeg razumijevanja ovog rada. Podjela premaza prema načinu stvaranja filma može se vidjeti na slici 2.2.



Slika 2.1. Podjela premaza prema vrsti otapala [5]

Prema načinu stvaranja filma razlikujemo fizikalno sušive premaze i kemijski sušive premaze.



Slika 2.2. Podjela premaza prema načinu stvaranja filma [5]

Prema zadatku u premaznom sustavu razlikujemo temeljni premaz kao osnovni premaz, kit, međuslojni premaz i završni premaz. Svi zajedno tvore sustav premaza za zaštitu materijala. Tradicionalno se premazi mijenjaju vrlo sporo, evolucijskim odgovorom na nove zahtjeve, nove sirovine i konkurentski pritisak. Važan je razlog za relativnu sporost u promjenama, teškoća predviđanja svojstava proizvoda na temelju laboratorijskih ispitivanja. No u zadnje vrijeme povećava se brzina tehničkih promjena. Glavna pokretačka snaga je potreba za smanjenjem emisije hlapivih organskih spojeva (eng. volatile organic compounds - VOC), zbog njihovog štetnog utjecaja na okoliš. Zbog ozbiljnosti situacije propisi su sve stroži, kontrole sve intenzivnije, a pritisak na smanjenje organskih otapala povećava se i porastom cijena otapala. Povećanje zabrinutosti o otrovnosti, utječe na promjenu mnogih sirovina koje su se tradicionalno koristile u bojama i lakovima.

Na osnovi tih spoznaja danas se premazi topivi u organskim otapalima smatraju tradicionalnim premazima, a premazi na kojima se intezivno radi kako bi nastavili put u budućnost su:

- Premazi sa visokom suhom tvari (eng. high solid coatings)
- Vodotopivi i vodorazrjedivi premazi (eng. waterborne coatings)
- Praškasti premazi (engl. powder coatings)
- Premazi koji otvrdnjavaju zračenjem (engl. radiation curing coatings).

Danas te grupe premaza smatramo ekološkim odnosno „prijateljima okoliša“, iako postoje još mnogi nedostaci na kojim je potrebno intezivno raditi, a nije isključen ni povratak prirodnim izvorima. [5]

## **2.1. Premazi sa visokom suhom tvari**

Ova vrsta premaza kako se vidi iz imena sadrži viši postotak suhe tvari, nego što je uobičajeno kod tradicionalnih premaza. Takvima se smatraju boje s više od 85% suhe tvari (maseni udio), iako se u praksi tako nazivaju i boje između 60 i 80% suhe tvari. Da bi se dostigao taj povišeni sadržaj suhe tvari, vezivo mora biti modificirano kako bi se snizila unutarnja vikoznost u odnosu na standardna veziva. Često se dodaju aditivi kako bi povećali umreženje za vrijeme sušenja. Veziva koja je moguća prilagoditi uvjetima „high solid“ su:

- Alkidne smole
- Poliesterske smole
- Poliuretani
- Akrilne smole
- Epoksi smole
- Polivinil klorid plastisol.

Nesušive alkidne smole umrežene s melaminskim smolama toplinskim sušenjem, često se koriste u industrijskim premazima. Budući „high solid“ premazi sadrže manje otapala, manja

je i emisija „HOS-a“. Oni također omogućuju veću debljinu sloja po primjenskom ciklusu. Usprkos početnim problemima danas se „high solid“ premazi primjenjuju klasičnom opremom za štrcanje, ali priprema površina ostaje kritična točka. Prema današnjoj situaciji mogu se usporediti prednosti i nedostaci „high solid“ premaza koji su vidljivi u tablici 2.1.1. [5]

Tablica 2.1.1. Usporedba prednosti i nedostataka premaza s visokom suhom tvari [5]

Prednosti	Nedostaci
Smanjena emisija „HOS-a“	Općenito traže višu temperaturu sušenja
Smanjena uporaba otapala	Osjetljivost na neadekvatno očišćenu podlogu
Smanjena požarna opasnost	Ekstremna osjetljivost na temperaturu i vlagu
Smanjen broj primjenskih nanosa da se postigne tražena debljina filma	Teško se kontrolira debljina filma
Poboljšana površinska tvrdoća	Teško se kontrolira curenje
Smanjena zagađenost i problemi mirisa, povećana sigurnost	Ne mogu se koristiti za umakanje i polijevanje
Mogućnost uporabe standardne opreme za štrcanje	Teško se obnavljaju
Smanjenje cijene energije za vrijeme sušenja	Otapala nisu kompletno eliminirana
	Kraće radno vrijeme

## 2.2. Vodotopivi i vodorazrjeđivi premazi

Vodotopivi i vodorazrjeđivi premazi razvijeni su sa zadatkom zamjene organskih otapala vodom, koja ima očite prednosti – nezapaljivost i neotrovnost. Njihovo uvođenje omogućilo je tehnološki postupak elektrotaloženja boja, u kojem se negativno nabijene čestice (anaforeza) ili pozitivno nabijene čestice boje (kataforeza), primjenom električnog polja, talože iz vodene otopine na metalne podloge.

S osiromašenjem sirovinskog izvora (npr. nafte) i uvođenjem strožih propisa za zaštitu okoliša, vodotopive i vodorazrjeđive smole razvijale su se sve više, pa su i među ekološki prihvatljivim materijalima zauzele najšire pozicije, zahvaljujući primjeni, metodama sušenja i industrijskoj uporabi.

Za reformulaciju sustava smola u kojem se organska otapala zamjenjuju vodom, potrebno je povećati hidrofilitnost polimernog sustava ili uvesti vodotopive grupe ili uključiti površinsko aktivne tvari. Kako se u proizvodnji i primjeni tih smola koristi voda kao otapalo ili razrjeđivač, svakako se mora uzeti u obzir da se fizikalna svojstva vode i organskih otapala veoma razlikuju. Molekule vode imaju visok dipolni moment i visok stupanj asocijacije. Iz toga proizlaze visoka točka vrelišta i visoka latentna toplina hlapljenja, a to znači dugo vrijeme isparavanja ili znatan utrošak energije u obliku topline. Visok dipolni moment vode odgovoran je za visoku površinsku napetost. Zbog toga su se na podlogama s niskom kritičnom površinskom napetosti (plastika ili neodmašćeni metali), često pojave neadekvatnog kvašenja, nezadovoljavajućeg pokrivanja rubova i krateri. Prednosti i nedostaci vodotopivih i vodorazrjeđivih premaza vidljivi su u tablici 2.2.1.

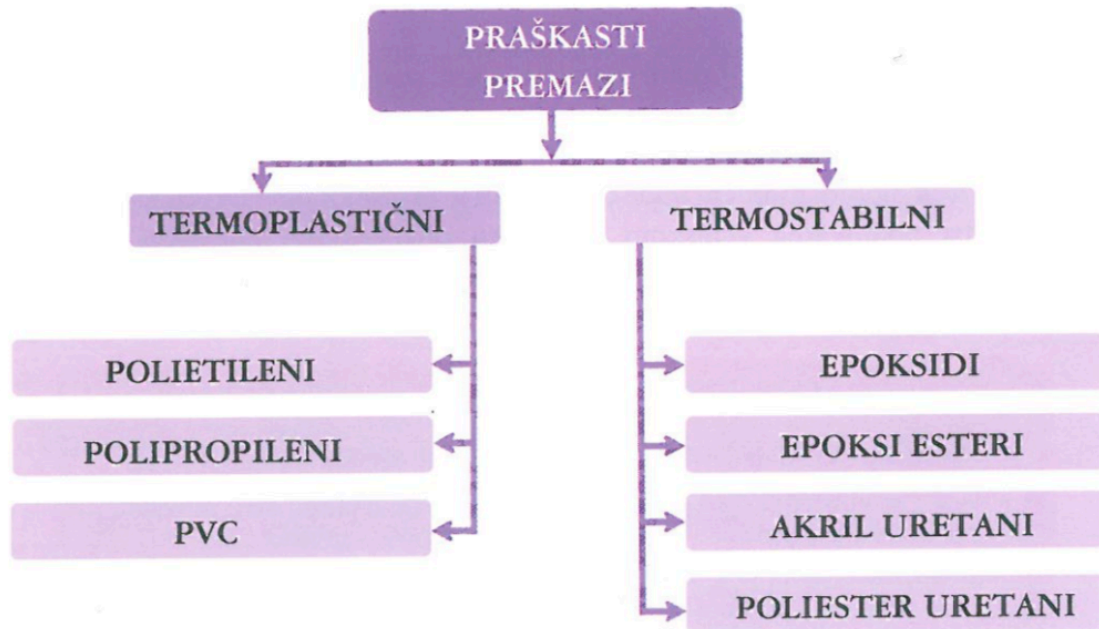
Tablica 2.2.1. Prednosti i nedostaci vodotopivih i vodorazrjeđivih premaza [5]

Prednosti	Nedostaci
Smanjena emisija „HOS-a“	Imaju tendenciju stvaranja pjene
Lako čišćenje alata	Teško se postiže visoko sjajni premaz
Dobro vrijeme skladištenja	Zahtijevaju izrazito čistu površinu bez masnoće i prašine
Ostatak osušene boje može se odložiti kao bezopasan otpad	Viša cijena
Mogu se koristiti konvencionalni primjenski postupci	Imaju manju temperaturnu otpornost

### 2.3. Praškasti premazi

Kod praškastih se premaza (engl. powder coatings) koristi 100%-tna smola u suhom praškastom stanju. Primjena ovih premaza bazira se na principu privlačenja suprotnih naboja. Prah se pneumatski dovodi iz rezervoara pištoljom za štrcanje gdje prah dobiva pozitivan naboj niske jakosti, a visokog napona. Dio koji treba obojati je električki uzemljen, tako da pozitivno nabijene čestice praha bivaju jako privučene tim dijelom površine. Prahom presvučeni dio prolazi tada kroz peć gdje se tali i stvara glatki premaz. Podloge moraju biti takove da podnesu visoke temperature ( $> 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Praškasti premazi su vrlo kvalitetni, trajni i korozijski otporni. Nakon uporabe ne ostaje opasni otpad, a prilikom sušenja ne oslobađaju hlapive organske

spojeve. Kao nekonvencionalni premazi i oni se dijele na termoplastične i termostabilne. Na slici 2.3.1. može se vidjeti podjela praškastih premaza.



Slika 2.3.1. Podjela praškastih premaza [5]

Termoplastične smole stvaraju premaze bez promjene molekularne strukture. Nakon primjene mogu se ponovno rastaliti. Termostabilne smole stvaraju uz pomoć topline stabilan umrežen film, koji se više ne može rastaliti.

Osim svih navedenih prednosti pred konvencionalnim premazima i ova grupa premaza ima nedostataka koje možemo usporediti s navedenim prednostima koji su vidljivi u tablici 2.3.1.

Tablica 2.3.1. Prednosti i nedostaci praškastih premaza [5]

Prednosti	Nedostaci
Ušteda energije	Teško je raditi male količine
Vrlo dobra kvaliteta premaza	Zahtijevaju blagu struju zraka za primjenu
Vrlo dobra trajnost	Teško se postižu tanki filmovi
Brza spremnost za pakiranje	Zahtijevaju bolju predobradu
Niža cijena	Mogu uzrokovati praškaste nakupine



## 2.4. Premazi za sušenje zračenjem

Ti su premazi specijalno formulirani, tako da zračenjem (radijacijom) ultraljubičastih zraka ili elektronskih zraka (engl. electron beams - EB), polimeriziraju direktno na podlozi. Proces UV sušenja nazvan fotopolimerizacija je fotokemijska reakcija. Posebno priređeni premazi mješaju se s malom količinom fotoinicijatora koji izlaganjem UV izvoru svjetla inicira umrežavanje. Brzina polimerizacije ovisi o intenzitetu korištene radijacije.

Premazi koji suše EB radijacijom izloženi su struji elektrona niske energije. Međutim, visoka cijena u kombinaciji s potrebnim EB generatorom ograničava tu vrstu premaza na svega 10 – 15 % od ukupnih premaza koji suše zračenjem.

Kompletna formulacija za sušenje zračenjem, sastoji se od smjese oligomera ( polimer niske molekularne mase), monomera, aditiva, pigmenata i fotoinicijatora. Oligomer igra važnu ulogu u određivanju konačnih svojstava filma. Smole koje se koriste u konvencionalnim premazima mogu se kemijski modificirati uvođenjem akrilne funkcionalnosti za radijacijsko sušenje. Usporedba prednosti i nedostataka mogu se naći u tablici 2.4.1.

Tablica 2.4.1. Prednosti i nedostatci premaza za sušenje zračenjem [5]

Prednosti	Nedostatci
Niži sadržaj HOS-a	Viša cijena premaza
Niža osnovna investicija za primjenu	Može doći do interferencije s pigmentima
Konstantna kakvoća	Potencijalna opasnost za iritiranje kože s akrilatima
Smanjena požarna i eksplozivna opasnost	Problemi s prijanjanjem
Korištenje malih peći	Nisu primjenjivi za sve premaze

## 2.5. Funkcionalni premazi

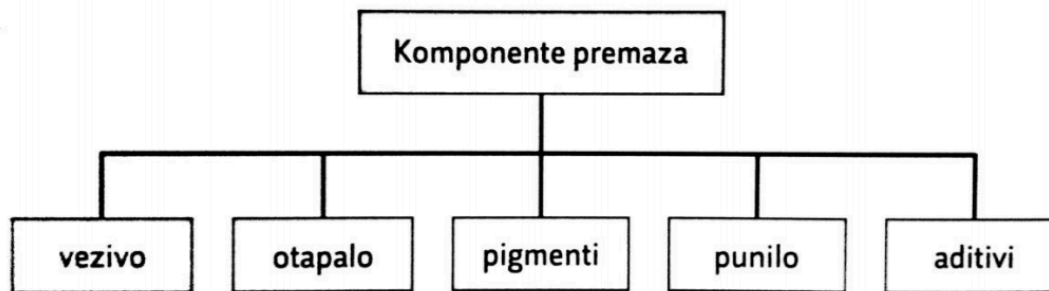
Premaz je svaki pripravak, uključujući sva organska otapala ili pripravke koji sadrže organska otapala potrebna za njegovu pravilnu primjenu, koji se koristi za dobivanje filma koji ima dekorativni, zaštitni ili drugi funkcionalni učinak na površinu.

Upravo zbog funkcionalnog učinka na površinu neke vrste premaza se ne mogu smjestiti u četiri osnovne vrste premaza. Jedna vrsta takvih premaza su i protupožarni premazi koji spadaju u grupu „*jednokomponentni funkcionalni premazi namijenjeni za uporabu u slučajevima gdje se zahtijevaju posebna funkcionalna svojstva, kao temeljni i završni premazi za plastiku, temeljni premazi za željezne podloge, temeljni premazi za reaktivne metale kao što su cink i aluminij, antikorozivni završni premazi, podni premazi koji uključuju premaze za drvene i cementne podove, kao i premazi koji su otporni na pisanje grafita, premazi koji inhibiraju gorenje i koji su u skladu s higijenskim normama koje se primjenjuju u industriji hrane i pića ili u zdravstvu*“ prema uredbi o graničnim vrijednostima sadržaja hlapivih organskih spojeva u određenim bojama i lakovima koji se koriste u graditeljstvu i proizvodima za završnu obradu vozila članka 41. Zakona o zaštiti zraka. [7]

### 3. Osnovne komponente premaza

Premaz je općeniti naziv za jedan ili više međusobno povezanih slojeva na nekoj podlozi koji stvaraju 'suhi' film. Izraz boja tradicionalno se rabi za opis pigmentiranih materijala drugačijih od bezbojnih filmova koje nazivamo lakovi. Sva premazna sredstva sadržavaju vezivo, koje čini opnu prevlake, i otapalo/razrjeđivač koji obično otapa vezivo, a regulira viskoznost.

Osim toga, premazna sredstva mogu sadržavati netopljive praškove (pigmente i punila) koji daju nijansu i čine premaze neprozirnim, kao i različite dodatke (aditive). Osnovne komponente premaza prikazuje slika 3.1. Lakovi mogu biti prozirni ili pigmentirani, a razlikuju se od boja većom glatkoćom, sjajem i tvrdoćom prevlake. Boje i lakove se najčešće nanose višeslojno, a svrha im je većinom zaštitno – dekorativna.



Slika 3.1. Komponente premaza [6]

#### 3.1. Aditivi

Aditivi za premazna sredstva mogu se usporediti s lijekovima. U odnosu na ukupnu masu „korisnika“ dodaju se u vrlo malim količinama, ali te količine moraju zaista biti pažljivo odmjerene jer u premalim dozama ne koriste, a u prevelikim dozama su otrov. Zbog toga je nakon točne dijagnoze nedostatka koji želimo otkloniti i upoznavanja njegovog uzroka, te prepisivanja vrste i količine aditiva, izrazito važno i točno doziranje u pogonu.

Danas se aditivi uzimaju u obzir, već kod kreiranja nove recepture i pripadaju osnovnim komponentama premaza. S obzirom na obaveznu kakvoću i zahtjeve u pogledu zaštite okoliša

u proizvodnji i primjeni premaza u svim su premazima aditivi nezaobilazne komponente, a specifične tehnologije (vodeni sustavi, praškasti sustavi i sl.) zahtijevaju razvoj specifičnih aditiva. Pooštrenje zakonskih regulativa (smanjenje udjela aromatskih otapala, organskih otapala, općenito, smanjenje udjela alkifeniletoksilata) također zahtijevaju nove aditive.

Prema nedostatku na kojeg djeluju dijelimo ih na slijedeće skupine [5] :

- Okvašivači i disperzanti
- Reološki aditivi (modificiraju ponašanje tečenja premaznih materijala)
- Antipjeniči (djeluju sniženjem površinske napetosti u susjedstvu mjehurića)
- Aditivi za poboljšanje izgleda površine
- Sušila i katalizatori
- Konzervansi
- Svjetlosni stabilizatori
- Korozijski inhibitori.

Međutim pojedini proizvodi ne pripadaju uvijek samo jednoj od ovih grupa, jer neki aditivi mogu istovremeno djelovati na više svojstava boje. Oni mogu također imati i neželjene i korisne postrane efekte. Aditivi nisu „magične“ tvari i treba ih koristiti razumno i pažljivo, kako bi se ostvario željeni zadovoljavajući rezultat.

### **3.1.1. Okvašivači i disperzanti**

U proizvodnji boja čestice pigmenta moraju biti distribuirane kao uniformne i koliko je moguće u tekućoj fazi. Pigmentne aglomerate treba najprije močiti otopinom veziva. Taj postupak može biti ubrzan uporabom aditiva za kvašenje. To su uglavnom materijali niske molekularne mase s tipičnom polarno – nepolarnom strukturom. Oni smanjuju napetost između otopine veziva i površine pigmenta. Nakon što se aglomerati usitne u manje čestice, sudarom i smičnim silama (mljevenje), pigmentnu disperziju treba stabilizirati, kako bi se izbjeglo ponovno stvaranje većih pigmentnih nakupina flokulata. Disperzanti su tvari za stabilizaciju, koje se adsorbiraju u pigmentnu površinu preko položajnih grupa s velikim afinitetom prema pigmentnoj površini i stvaraju odbojne sile između individualnih pigmentnih čestica. Stabilizacija se postiže ili djelovanjem elektrostatskog naboja ili putem nepolarne strukture.

Okvašivači i disperzanti mogu također uspješno riješiti probleme vertikalnog i horizontalnog isplivavanja.

### **3.1.2. Aditivi za poboljšanje površinskih svojstava**

Nedostatci koji se javljaju na površini premaza gotovo uvijek u pravilu su posljedica visoke površinske napetosti. Površinska napetost je sila koja drži tekućinu zajedno i uzrokuje zauzimanje najmanjeg mogućeg volumena. Upravo ona je razlog zašto se tekućina prilikom pada na površinu pretvori u kuglicu. Padom tekućine na podlogu formirana kuglica pokriti će veću ili manju površinu ovisno o površinskoj napetosti tekućine i podloge. Razlike u površinskoj napetosti mogu izazvati nepravilnosti na površini premaza kao što su tzv. Beenardove ćelije, krateri, riblje oči, narančina kora, i dr. Aditivi koji se koriste da s izbjegnute nedostatci su fluoro i slikonske površinski aktivne tvari, te akrilat. Ponekad se u tu svrhu koriste i voskovi koji poboljšavaju glatkoću premaza, a istovremeno poboljšavaju otpornost trošenju (grebanju).

### **3.1.3. Sušila i katalizatori**

Sušila, u premaznoj industriji poznati kao sikativi (lat. Siccare – sušiti), koriste se u sustavima boje koje suše pri sobnoj temperaturi procesom oksidacije. To su organometalni spojevi (metalni sapuni monokarbonskih kiselina s 8-11 ugljikovih atoma, pri čemu je metal aktivan dio).

Dijele se na primarne ili površinske (kobalt Co, i mangan Mn) i sekundarne ili dubinske (olovo Pb, kalciji Ca, cink Zn, cirkonij Zr, i barij Ba). Važno je da u boji budu zastupljena sušila iz jedne i druge skupine, pa se u praksi uvijek koriste kombinacije sušila. Međutim, za vrijeme skladištenja, osobito ako ambalaža nije dobro zatvorena, sušila mogu izazvati površinsko sušenje u ambalaži, koje se manifestira kao „koža“. Zato su potrebna sredstva protiv „koženja“ (oksimi ili alkil fenoli). Oni blokiraju djelovanje sikativa u ambalaži, a kod ispravnog doziranja ne produžuju vrijeme sušenja.

### **3.1.4. Konzervansi**

Boje u tekućem stanju ili u suhom filmu mogu biti hranjiva podloga mikroorganizmima, pa se zato u zaštitne svrhe koriste biocidi/fungicidi. Rast mikroorganizama u tekućoj boji može uzrokovati razvijanje plinova, loš miris, obezbojenje i konačno pretvaranje boje u potpuno neuporabljivu. To je uglavnom problem vodenih sustava, dok u otapalnim sustavima organska otapala efikasno štite boju od mikroorganizama. Konzervansi se dijele na one koji djeluju u ambalaži i one koji djeluju u filmu. Konzervansi koji su aktivni u ambalaži trebaju sačuvati boju za vrijeme skladištenja i transporta, dok konzervansi koji djeluju u filmu imaju zadatak spriječiti rast bakterija, gljiva i algi na primijenjenoj površini. Protuobrašatajni (engl. antifouling) aditivi, imaju zadatak sprječavanja rasta morskih organizama na podlozi plovila ili nekog drugog objekta u moru. Najefikasniji su organoživini spojevi i klorirani fenoli, ali se zbog opasnosti po okoliš zamijenjeni organskim tvarima bez metala, uglavnom heterocikličkim spojevima s dušikom.

### **3.1.5. Svjetlosni stabilizatori**

Mnogi pigmenti blijede i mnoga se veziva razgrađuju pod utjecajem sunčevog zračenja, posebno ultraljubičastog. Naročito se brzo razgrađuju nepigmentirani lakovi. Ultraljubičasti adsorberi djeluju na poboljšanje kvalitete zaštitnih bezbojnih lakova. Kombinacijom UV – adsorbera i svjetlosnog stabilizatora postiže konverzija neželjene kratke valjne duljine u toplinsku energiju, a svjetlosni stabilizator „zarobljava“ slobodne radikale koji se razvijaju i uzrokuju degradaciju filma. Ta je tehnologija posebno uspješna kod dvoslojnih metalik sustava koji se sastoje od pigmentirane baze i bezbojnog pokrivnog laka i prevladava probleme kredanja pigmentirane baze i pucanja završnog bezbojnog laka.

### **3.1.6. Korozijski inhibitori**

Za premaze s dobrom korozijskom zaštitom koriste se antikorozijski pigmenti, a boja mora djelovati kao barijera protiv agresivnog medija. Korozijski inhibitori nemaju svojstva pigmenata, jer su topivi u organskim otapalima, a nisu obojeni. Oni inhibiraju korozijski proces na željenim površinama (u ambalaži i na podlozi premaza). Tipični su primjeri natrijev nitrit i natrijev benzoat za vodene sustave. Organske tvari koje sadrže dušik, derivati tanina, koriste se u industriji, a s nekim organo – metalnim kompleksima postižu se vrlo dobra svojstva u kombinaciji s cinkovim fosfatom. [4]

### 3.2. Punila

Punila su praškasti materijali slični pigmentima po vanjskom izgledu sirovine, ali bez dva osnovna svojstva pigmenata; nemaju ni pokrivnost ni moć bojenja. Razlog za to je u indeksu loma kod punila, koji se je vrlo blizu indeksa loma svjetla što ga imaju veziva, tj. oko 1.7. Za razliku od veziva, koja su organske tvari podložne promjenama i razaranju pod djelovanjem vode, svjetla, atmosferilija i drugih utjecaja, punila su mineralne tvari stare često i nekoliko tisućljeća i kao takva otporna na nabrojene utjecaje pa ostaju u premazu nepromijenjena i predstavljaju čvrsti i trajni kostur premaza. Za većinu premaza nije potrebno da su sastavljena samo od pigmenata i veziva, pa se dodatkom punila snižava cijena premaznog sredstva i ono postaje pristupačnije za potrošače.

Od prirodnih punila najviše se primjenjuju barit, talk, karbonatna punila kalcit, dolomit i kreda, zatim kremenata kreda, kvarceno brašno i pijesak i sl. Od sintetskih materijala upotrebljava se „blanc fix“ (barijev sulfat) odnosno taložna kreda, te alumosilikatna punila koja su obrađeni mineralni materijali.

### 3.3. Pigmenti

Pigmenti, boje i punila definirani su prema DIN 55943 kao materijal za bojenje. Pigmenti su definirani kao netopive organske ili anorganske tvari koje selektivno apsorbiraju i reflektiraju svjetlost, a posljedica toga je određeno obojenje, koje daju premazima. Boje su definirane kao tvari za bojenje, koje su topive u primijenjenom mediju. Osnovna boja i svojstva otpornosti pigmenta određeni su njihovim kemijskim sastavom, dok su nijansa, intenzitet, pokrivnost, moć bojenja i postojanost modificirani drugim čimbenicima. Otpornost pigmenata na vanjske utjecaje ovisi o njihovom kemijskom sastavu i dodatnoj obradi. Izbor pojedine vrste premaza vrši se prema uvjetima u kojima će oni biti primijenjeni. Pojedini pigmenti mogu i znatnije povisiti otpornost premaza za vanjske utjecaje, kao npr. cinkov oksid, koji štiti od djelovanja ultraljubičastih zraka. Neki pigmenti imaju svojstvo da ovisno o svom kemijskom sastavu reagiraju s vlagom i ostalim agensima što prodiru kroz premaz i tako sprječavaju kemijske procese tih agensa s metalom. Naročito su poznati bili olovni miniji, cinkovi kromati

i fosfati za zaštitu metala no s obzirom da se industrija premaza sve više okreće zelenoj proizvodnji takvi sustavi su se izbacili iz upotrebe zbog velikog zagađenja okoliša. Vrijedno je reći da su takvi sustavi sa olovnim minimima imali rok trajanja i preko 20 godina, dok današnji sustavi traju 10-ak godina. [5]

### **3.3.1. Kemijska struktura**

Boja pigmenta određena je selektivnom apsorpcijom i refleksijom raznih valnih duljina vidljivog spektra tj. 0,4 – 0,7 um. Različita apsorpcijska i refleksijska svojstva pigmenta naglašena su rasporedom elektrona unutar molekule, te njihove energije, frekvencije i vibracije. Tako se npr. plavi pigment pojavljuje u plavoj boji, jer reflektira plavu valnu duljinu upadnog bijelog svjetla, a apsorpira sve ostale, dok crni pigment apsorpira gotovo sve valne duljine, a bijeli pigment reflektira sve vidljive valne duljine.

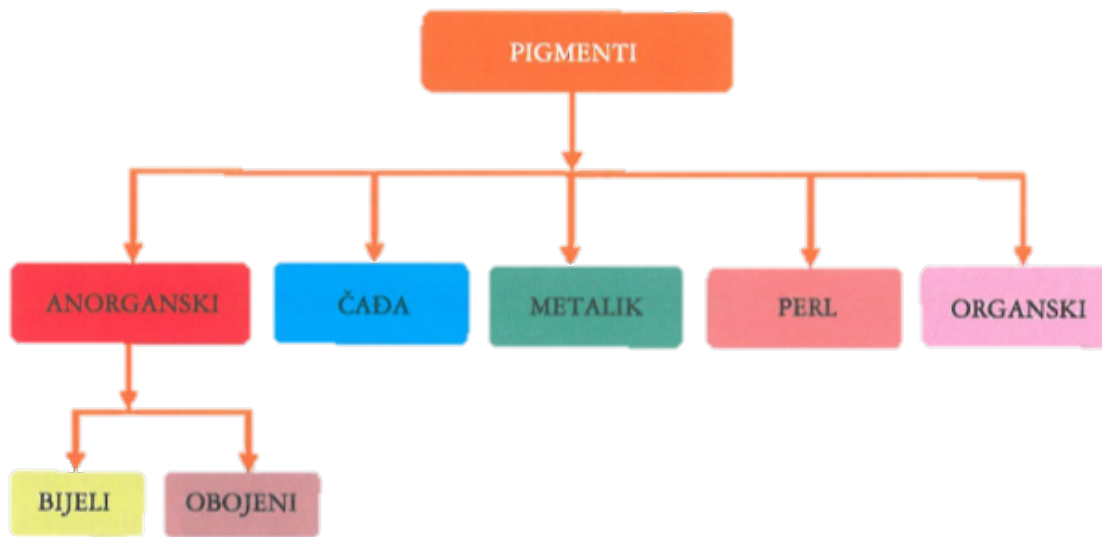
### **3.3.2. Fizikalna struktura**

Pigmenti su većinom kristalni, ali i amorfni oblici. To znači da su atomi unutar svake molekule složeni ili po nekom redu kristalni oblik ili su zauzeli određena mjesta sasvim slučajno – amorfni oblik. Neki se materijali pojavljuju u više kristalnih oblika i poznati su kao polimorfni, npr. titan (IV) oksid ( $\text{TiO}_2$ ) pojavljuje se u anatas i rutil kristalnom obliku. Primarni oblik pigmentnih čestica određen je kemijskim sastavom, kristalnom strukturom i uvjetima u kojima je pigment stvaran, u prirodi ili sintetski. Po obliku primarnih čestica pigmenti mogu biti: kuglasti, nepravilni – čvorasti, kockasti, štapićasti, lamelarni – listićasti.

### **3.3.3. Podjela pigmenta**

Na slici 3.3.3.1. može se vidjeti podjela pigmenta, dok se u tablici 3.3.3.1. može uočiti usporedba karakterističnih svojstava organskih i anorganskih pigmenta. Znak (+) u tablici označava više vrijednosti, odnosno jače izraženo svojstvo dok znak (-) označava nižu vrijednost, odnosno slabije izraženo navedeno svojstvo. Treba naglasiti da je cijena često ograničavajući čimbenik, a ona je viša (ponekad višestruko), kod organskih pigmenta.





Slika 3.3.3.1. Podjela pigmenata [5]

Tablica 3.3.3.1. Usporedba karakterističnih svojstava organskih i anorganskih pigmenata

Tipovi pigmenata	Uljni broj	Lakoća disperziranja	Gustoća	Specifična površina	Čistoća boje	Moć bojenja	Pokrivnost
anorganski	-	+	+	-	-	-	+
organski	+	-	-	+	+	+	-

### 3.4. Otapala

Pojam „otopina“ uobičajen je za tekućine koje se sastoje od bar dvije kemijski različite tvari. Šire gledano to je samo jedan slučaj smjese dviju ili više tvari. Smjese se lakše postižu miješanjem sličnih kemijskih tvari, te sličnih po veličini i obliku molekula. Obično se nazivaju jednim imenom: disperzije. Podjela disperzija prema veličini vidljiva je u tablici 3.4.1.

Tablica 3.4.1. Podjela disperzija prema veličini čestice

Veličina čestice	Naziv
Molekule	Obične otopine
0,005 – 0,2 $\mu\text{m}$	Koloidne otopine
Preko 0,2 $\mu\text{m}$	Suspencije
Preko $\mu\text{m}$	Grube suspencije

Otopine mogu biti plinovite, tekuće ili krute. Zrak je najbliži primjer međusobne otopine nekoliko plinova. Dobro poznate tekuće otopine su riječne i morske vode, lakovi, alkoholna pića, te bezbroj ostalih. Krute otopine su npr. staklo, legure metala, suhi film laka, i druge.

Kod običnih otopina razlikuju se dvije komponente: otopljena tvar i otapalo. Kod krutih i plinovitih otopina obično smatramo otapalom tvar koje količinski ima najviše. Kod tekućih otopina obično je otapalo tekuće i manje molekularne težine, a otopljena tvar krutina, visokoviskozna masa, ili plin. U otopini sastavljenoj od prvobitno tekućih tvari obično je otapalo tvar koje ima količinski najviše, ili izrazito manje molekularne težine od ostalih komponenti.

U proizvodnji premaznih sredstava rade se otopine smola, koje nazivamo otopinom veziva ili vezivom, a mogu biti dodane i neke druge tvari koje se otapaju u otapalu, pa se dobije bezbojno premazno sredstvo, za koje se obično kaže lak. Osnovni zadatak otapala je da pomoću njega dobijemo vezivo u takvom agregatnom stanju koje omogućuje proizvodnju premaznih sredstava i njihovu primjenu. Nema univerzalnog otapala. Pojedine smole otapaju se u otapalima slične kemijske građe. Ostala otapala često ne mogu otopiti te smole ali već gotovu otopinu mogu razrijediti na željeni viskozitet, pa se nazivaju razrjeđivačima ili punila za otapala. Pojam se ovdje odnosi na pojedino otapalo, dok su razrjeđivači koji se nalaze na tržištu kao komercijalni artikli za razrjeđivanje premaznih sredstava prije upotrebe, smjese pravih otapala i punila za otapala za dotično vezivo. Otapala se dijele na tri osnovne skupine:

- Ugljikovodici
- Derivati ugljikovodika s kisikom
- Klorirani ugljikovodici.

Ugljikovodici se opet dijele na alifatske ugljikovodike, aromatske ugljikovodike i terpene, a derivati ugljikovodika s kisikom se još dijele na alkohole, ketone, estere i glikole.

### **3.4.1. Svojstva otapala**

Svojstva filma puno ovise o izboru otapala, a posebno kod fizikalno sušivih premaznih sredstava. Prebrzo hlapivo otapalo će brzo ispariti s površine i ostaviti suhu kožu na površini nanesenog premaza, pa će pare otapala iz donjeg sloja napuhnute tu kožu u obliku sitnih mjehurića. Osim tog defekta prebrza hlapiva otapala imaju i negativan utjecaj na strukturu filma. Kod prebrzog sušenja ne mogu se molekule veziva orijentirati u položaj kojim se postiže najbolja unutarnja homogenost i odgovarajuća fizikalna svojstva. Otapala utječu i na razlijevanje.

Sposobnost premaznog sredstva da po nanošenju razlijeva stvarajući ravnu površinu ovisi o tečenju veziva, svojstvima otapala, količini i visini pigmentacije i aditivima. Ako otapalo prebrzo ishlapi premaz koji inače dobro razlijeva ne dospije se razliti pa dobivamo neželjene efekte po površini. Kod lakova sastavljenih od više smola kombiniraju se otapala koja te smole otapaju. Ako se ne uravnoteži njihov sastav može se dogoditi da jedno otapalo prebrzo ishlapi i da se njegova smola istaloži iz otopine, pa se dobivaju mutni filmovi bez odgovarajućih mehaničkih i zaštitnih svojstava.

### **3.4.2. Hlapivost**

Svaka tekućina ima određenu vrijednost tlaka para koji ovisi o temperaturi okolne atmosfere. Hlapive tekućine imaju visok tlak para pod normalnim uvjetima i zato brzo hlape. Tlak para i hlapivost su indikatori „lakoće“ kojom molekule tekućine napuštaju površinu. U nepolarnim tekućinama, kao npr. ugljikovodici, molekule postoje kao samostalne, ali u mnogim polarnim, one su udružene (asocirane) zbog djelovanja sekundarnih valentnih sila. Za određivanje hlapivosti koristi se usporedbena metoda. Brzina hlapivosti ovisi o mnogim čimbenicima. Neki od njih su svojstva otapala dok su drugi posljedica vanjskih utjecaja. Da bi se uklonili utjecaj vanjskih čimbenika, koristi se metoda procjene brzine hlapljenja pri istim uvjetima kod koje je dietel eter uzet kao standard.

$$\text{Brzina hlapljenja} = \frac{\text{vrijeme hlapljenja otapala}}{\text{vrijeme hlapljenja etera}} \quad (1)$$

Tom metodom uspoređuju se vremena hlapljenja određene količine tekućine iz tankog filma tekućine ili s filter papira. Dogovorno je vrijednost za dietil eter = 1. [5]

U alternativnoj metodi procjene hlapivosti n butil-acetat dogovorno je uzet kao standard s hlapivosti 1. No u tom slučaju se hlapivost računa prema izrazu:

$$\text{Brzina hlapljenja} = \frac{\text{vrijeme hlapljenja butil-acetata}}{\text{vrijeme hlapljenja otapala}} \quad (2)$$

Zbog toga kod korištenja podataka o hlapivosti je potrebno uvijek imati i podatak prema kojem je otapalu procijenjena hlapivost. S obzirom na relativne vrijednosti, hlapivost je nedimenzionalni broj.

### 3.5. Veziva

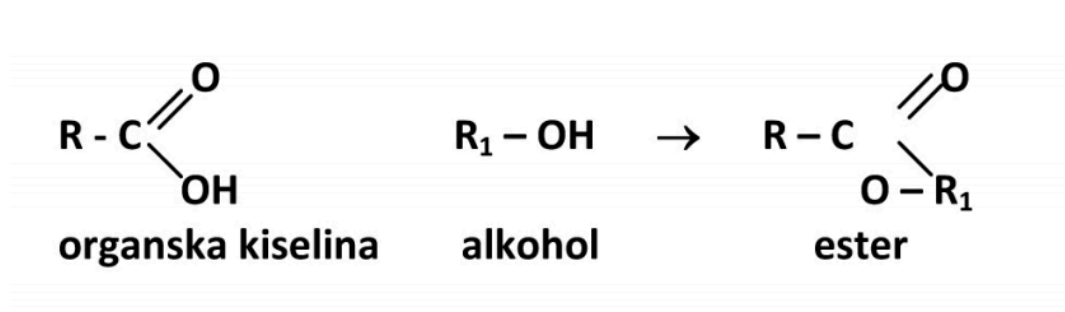
Veziva su nositelji premaza, koji povezuju sve komponente premaza u homogenu cjelinu. Po sastavu mogu biti razne smjese na temelju sušivih ulja, kao i prirodne i umjetne smole. U određenom premaznom sredstvu često se kombiniraju različita veziva, kako bi se postigla željena svojstva premaza. Valja istaknuti da se vezivo premaznog sredstva bitno razlikuje od tvari koja čini opnu prevlake ako ona nastaje kemijskim otvrdnjavanjem. Važna su veziva na osnovi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari. Veziva dijelimo prema porijeklu na prirodna i umjetna no češća je podjela prema načinu sušenja, tj. stvaranju filma. Prema načinu sušenja veziva dijelimo na fizikalno sušenje i kemijsko sušenje, a kemijsko sušenje se dijeli još na tri podvrste: oksidacijom, poliadicijom, polikondezacijom.

### 3.5.1. Alkidi

Alkidi i ulja za sušenje koriste se u bojama i premazima već stoljećima. Ove kombinacije ulja za sušenje i masnih kiselina za sušenje sadrže širok raspon prirodnih i sintetskih smola koje tvore kruti film reakcijom s kisikom iz zraka u procesu koji se zove oksidativno poprečno povezivanje (stvrđnjavanje). Oni zapravo spadaju u široku generičku skupinu poznatu kao poliesteri.

Postoji vrlo širok raspon masnih kiselina za sušenje ulja koje mogu reagirati s kisikom kako bi se stvorio čvrsti film za oblaganje, od kojih svaki ima svoje karakteristike sušenja i stvrđnjavanja, od vrlo sporog do umjereno brzog.

Za kontrolu ovog oksidacijskog procesa, kemičari koriste različite metalne katalizatore koji se nazivaju sušilice (kobalt, mangan, cirkonij, kalcij, itd.), koji promiču kontrolirane reakcije primijenjenog filma tako da se suši tijekom cijelog filma, a ne na vanjskom gdje je kisik najlakše dostupan. Na slici 3.5.1.1. može se uočiti kemijska struktura alkidne smole.



Slika 3.5.1.1. Kemijska struktura alkidne smole [8]

#### 3.5.1.1. Svojstva alkidnih premaza

Svojstva alkidnih premaza uglavnom ovise o tri varijable [3]:

- a. Vrsti sušivog ulja koje se koristi za proizvodnju alkida

- b. Relativnoj količini masnih kiselina sušivog ulja u komponenti sintetske smole. Razlikujuju se masne (preko 60%), srednje masne (40 – 60%) i mršave (ispod 40%) alkidne smole.
- c. Sastojci i postupci obrade koji se koriste tijekom same proizvodnje smole određuju svojstva komponente sintetske smole.

### **3.5.1.2. Tipovi sušivih ulja i alkida**

Postoji više vrsta sušecih ulja, a koja su baza većine alkidnih smola odnosno premaza [3]:

- a. Riblje ulje
- b. Laneno ulje
- c. Ulje šafranike
- d. Sojino ulje
- e. Tall-ulje (bor)
- f. Tungovo ulje
- g. Ricinusovo ulje (arganovo ulje).

Sušiva ulja sastavljena su uglavnom od miješanih glicerida uljne, linolne i linolenske kiseline. Podnose se sa svim pigmentima i sa mnogo drugih veziva. Nisu postojana na djelovanje vlage, lužina, kiselina i viših temperatura. Najčešće se koriste za proizvodnju firnisa i alkidnih smola.

Također postoje alkidi kojima baza nije prirodnog podrijetla, to su modificirani alkidi [3]:

- a. Fenolni alkidi
- b. Epoksi alkidi
- c. Silikonski alkidi
- d. Uretanski alkidi.

### 3.5.1.3. Prednosti alkida

Prednosti alkida su:

- Dobra svojstva na vremenske uvjete, osobito na vanjskim konstrukcijama
- Lako se nanosi četkom, valjkom ili prskanjem.
- Zbog dobrog svojstva vlaženja ( osobito masni, odnosno dugoulni alkidi) pogodan za aplikaciju na slabije pripremljene površine
- Relativno jeftin
- Sintetički alkidi imaju visoki sjaj, dok prirodna ulja imaju jako nizak sjaj.

### 3.5.1.4. Nedostatci alkida

Nedostatci alkida su:

- Relativno slaba otpornost na vodu; ne bi se smjeli koristiti u uronjenim uvjetima i suho/mokrim ciklusima.
- Relativno sporo sušenje i otvrdnjavanje, poglavito pri niskim temperaturama.

Alkidne smole najčešće se koriste kao sastavni dijelovi jednokomponentnih premaza, čija je odlika jednostavnost primjene i cijena. No, alkidi ne spadaju u otpornije premaze prema preporukama u normi ISO 12944-5.

## 3.5.2. EPOKSIDNE SMOLE

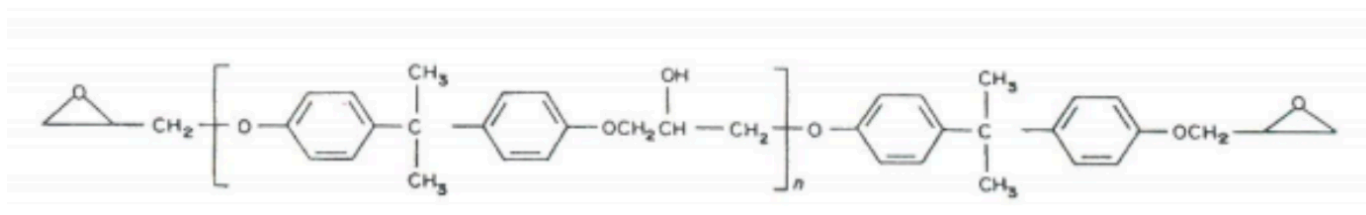
Epoksidne smole su kemijski inertni polimeri s najmanje dvije epoksidne skupine koji se povezivanjem lančastih molekula mogu prevesti u visokomolekulske polimerne materijale.

Proizvode se polikondezacijom dihidroksifenilpropana (bifenol A) i epiklorhidrina u dva stupnja. Većina epoksi premaza imaju dvije komponente, bazu i otvrdnjivač. Neki imaju i

tri komponente, kao npr. epoksi smole bogate cinkom, gdje je cinkov prašak najčešće u posebnom pakiranju. Baza je najčešće već pigmentirana smjesa dok otvrdnjivač obično nema ili ima jako malo pigmenta u sebi, a bez kojeg baza nikada ne bi mogla otvrdnuti. Otvrdnjivač se često zove konverter ili katalizator [3].

### 3.5.2.1. BISPHENOL A

Najčešće korištena smola za epoksidne premaze dolazi u širokom spektru postignutih svojstava dobivenih mješanjem različitih molekulskih masa smole. S obzirom na postignuta svojstva takve smole su jako lagane za koristiti, a i postižu visoke iznose tvrdoće i otpornosti na kemikalije i visoku temperaturu. Imaju izvrsna prijanjajuća svojstva s dobrom fleksibilnošću i otpornošću na udarce i abraziju. Slika 3.5.2.1.



Slika 3.5.2.1. Jedinica polimera epoksida [5]

### 3.5.2.2. BISPHENOL F

Ovo su većinom reaktivnije smole za razliku od Bisphenol A epoksi smole. Otvrdnjavanje ove vrste epoksi smole moguće je i pri nižim temperaturama. Ove vrste epoksi smole imaju bolju otpornost na visoku temperaturu, kemikalije i otapala. Često, epoksi proizvodi koji sadržavaju između 90% i 100% suhe tvari izrađuju se na bazi Bisphenol F bazi.



### 3.5.2.3. Multifunkcijske epoksi smole

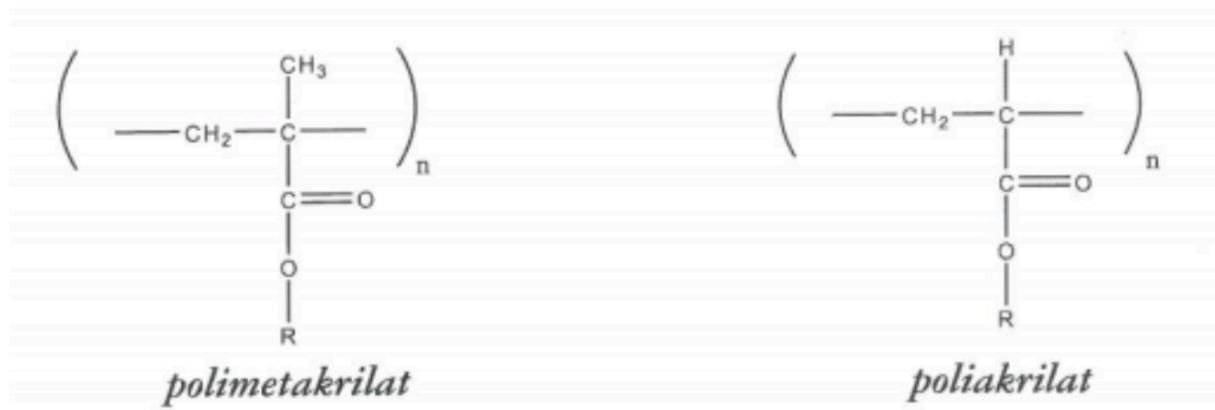
Ove vrste epoksi smole su reaktivnije od obje vrste Bisphenol epoksi smola, što rezultira boljom otpornošću na kemikalije, poglavito kod obloga za spremnike. Potrebno je pažljivije rukovati s ovom vrstom epoksi smole u fazama aplikacije i otvrdnjavanja, ponekad je potrebno dodati i toplinski izvor energije kako bi se proces otvrdnjavanja započeo da bi se postigla maksimalna gustoća pokrivnog filma. Kontroliranje debljine nanešenog filma je kritično kako bi se izbjegla zaostala naprežanja u nanešenom filmu koja mogu dovesti do delaminacije nanešenog sloja.

Specijalni proizvodi koji koriste ovu smolu kao bazu sposobni su izdržati temperature od preko 260 °C i tlakove do 10,000 psi (39 MPa). [9]

### 3.5.3. AKRILNE SMOLE

Akrilne smole ili poliakrilat su plomerni proizvodi male tvrdoće, postojani na djelovanje svjetlosti, kisika, kiselina i lužina. Dobivaju se polimerizacijom estera, amida i nitrila akrilne kiseline. Od estera potječu poli(etil-akrilati) i poli(butil-akrilati), koji nastaju radikalnom polimerizacijom pripradnih monomera. [6]

Samoumrežavajuće termoreaktivne akrilne smole zbog izvanredne otpornosti prema kiselinama i alkalijama osobito su pogodna kao veziva za prekrivna sredstva kućanskih aparata, dok termoreaktivne akrilne smole umrežene uz pomoć melaminskih smola i izocijanata pokazuju osobito izraženu otpornost na atmosferske utjecaje, što se primjenjuje u automobilskoj industriji. Vodene disperzije akrilnih smola imaju veliku tehničku i gospodarsku važnost. To su idealna veziva disperzijskih boja za porozne podloge kao što su fasade građevina i zidovi prostorija. Slika 3.5.3.1. prikazuje shematski prikaz jedinice polimetakrilata i poliakrilata.



Slika 3.5.3.1. Shematski prikaz jedinice polimetakrilata i poliakrilata [5]

### 3.5.3.1. Prednosti vodenih disperzija akrilnih smola

Prednosti vodenih disperzija akrilnih smola su:

- Jednostavnost nanošenja četkom, valjkom ili prskanjem
- Relativno jeftin
- Izvrsno zadržavanje sjaja i postojanosti boje
- Dobra dugoročna fleksibilnost sloja
- Dobra prionjivost na galvanizirane površine.

### 3.5.3.2. Nedostatci vodenih disperzija akrilnih smola

Nedostatci vodenih disperzija akrilnih smola su:

- Brza vidljivost korozije (eng. flash rusting) kada se nanosi na temperaturama blizu ništice
- Podložan ispiranju kada je površina izložena kiši nekoliko sati nakon aplikacije
- Sporo otvrdnjavanje kada je površina izložena visokoj vlazi.

### 3.5.4. VINILNE SMOLE

Vinilne smole su veziva koja se suše fizikalno. Neka od tih veziva proizvode se u praškastom obliku (na primjer polivinilklorid), a mnoga se upotrebljavaju kao vodene disperzije (na primjer polivinilacetat). Područje njihove primjene vrlo je široko i raznoliko. To su uglavnom veziva koja se primjenjuju u naličima od kojih se traže dobra mehanička svojstva i kemijska otpornost. Tako na primjer, polivinilbutiral služi kao vezivo za izradu poznatih jednokomponentnih i dvokomponentnih reaktivnih temeljnih boja (trgovački naziv *Washprimer*), koji sadrže fosforu kiselinu i antikorozivne pigmente i izvrsno prijanjaju uz željezo i lake metale.

Danas je vinil-klorid jedan od najvažnijih proizvoda organskokemijske industrije. Posljednjih je godina ustanovljeno da je vrlo otrovan, a i kancerogen, pa se s tim u vezi u suvremenim tvornicama provode posebne zaštitne mjere. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije, prosječna koncentracija vinil-klorida u zraku u zapadnoeuropskim zemljama iznosi 0,1 do 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , u blizini proizvodnih pogona i više od 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , na udaljenosti 1 km od pogona manje od 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a smatra se da vjerojatnost obolijevanja od raka pri dugogodišnjoj izloženosti vinil-kloridu u koncentraciji od 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  iznosi 1 : 10<sup>6</sup> [4].

Vinilne smole imaju nisku vlažnost i brzinu prijenosa kisika, što ih čini jako pogodnim za uvjete uranjanja u vodu i uvjete visoke vlažnosti. Zbog toga se takve smole koriste u premazima koje se najčešće nalaze u industrijskoj uporabi, npr. ljevaonicama koje proizvode velike serije metalnih proizvoda te ih uranjaju u premaz.

### 3.5.4.1. Prednosti vinilne smole

Prednosti vinilnih smola su:

- Lako nanosiva i brzosušeća čak i u uvjetima niskih temperatura
- Izvrsna sposobnost prijanjanja novih slojeva unutar višeslojnih premaza, rijetko se događa delaminacija
- Izvrsna otpornost na vodu i koroziju, čak i kod uranjanja
- Izvrsna adhezijska svojstva .

### 3.5.4.2. Nedostatci vinilne smole

Nedostatci vinilnih smola su:

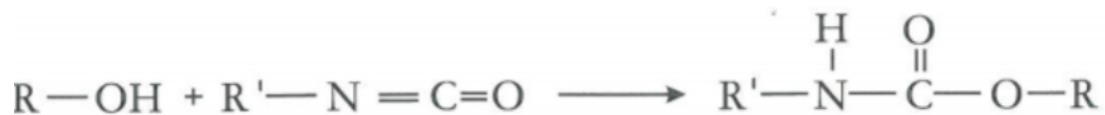
- Slaba adhezija direktno na metalu; zahtjeva specijalno razvijeni osnovni premaz
- Premazi s nižim postotkom volumena suhe tvari ne zadovoljavaju granične uvijete emisije hlapljivih organskih spojeva
- Zahtjeva tri ili više slojeva da se postigne otpornost na koroziju
- Slaba otpornost na otapala.

### 3.5.5. POLIURETANI

Poliuretani su izumljeni sredinom prošlog stoljeća. Od tada tehnologija je napredovala u nekoliko smjerova. ASTM D 16 „*Standard Terminology Related to Paint, Varnish, Lacquer and Related Products*“ je klasificirala poliuretane u dvije glavne skupine s obzirom na otvrdnjavanje: [6]

- Dvokomponentni sustav s otvrdnjavanjem pomoću izocijanata
- Jednokomponentni sustav s otvrdnjavanjem pomoću vlage.

Poliuretan (PUR) je polimerni materijal građen od linearnih, granatih i umreženih makromolekula u kojima su uretanske skupine (–NH–CO–O–) povezane s polieterskim ili poliesterskim segmentima (R<sub>2</sub>). Dobiva se stupnjevitom polimerizacijom (uz prijenos reaktivnoga vodika) diizocijanata i dialkohola u polarnim otapalima i uz katalizatore. Poliuretanski lakovi najčešće su dvokomponentni. U najvažnija svojstva poliuretana ubraja se njihova izvanredna postojanost na utjecaj alifatskih i aromatskih ugljikovodika i estera, na utjecaj atmosfere, industrijsku atmosferu i primorske uvjete, zatim otpornost prema kiselinama i alkalijama nižih koncentracija, prema uljima i mastima, te otpornost na habanje (trošenje) i povišene temperature (do 170 °C). Zbog svojih izvanrednih svojstava poliuretani služe kao veziva za prekrivna sredstva koja se vrlo rašireno i raznoliko primjenjuju u mnogim industrijskim granama, a posebice u građevini gdje se poliuretan koristi kao materijal za impregnaciju i kod određenih membrana. Slika 3.5.5.1. prikazuje shematski prikaz reakcije izocijanata s hidroksilnim grupama.



Slika 3.5.5.1. Shematski prikaz reakcije izocijanata s hidroksilnim grupama. [9]

### 3.5.5.1. Prednosti dvokomponentnih poliuretana

Prednosti dvokomponentnih poliuretana su:

- Širokopojasno temperaturno područje aplikacije premaza
- Kompaktibilnost sa širokim spektrom postojećih organskih premaza
- Izvrsni stupanj sjaja i postojanost boje.

### 3.5.5.2. Nedostatci dvokomponentnih poliuretana

Nedostatci dvokomponentnih poliuretana su:

- Osjetljivost na vlagu tijekom otvrdnjavanja
- Slabija otpornost na uranjanje ili kemikalije od epoksidnih smola
- Osjetljivost radnika na slobodne izocijanate tijekom aplikacije.

### 3.5.6. POLISILOKSANI

Pojam "silikon" uveo je F. S. Kipping (1863-1949), a odnosi se na formalnu analogiju između silikonskih spojeva i ekvivalenata spojeva kisika i ugljika (polisilikonski ketoni). Međutim, Si-O-Si grupu bolje opisuje pojam "Siloksan." Strogo govoreći, sve silikona treba ispravno nazvati "Polisiloksanima". Danas, pojam silikon se uglavnom koristi u kombinaciji sa tehničkim aplikacijama polisiloksana.

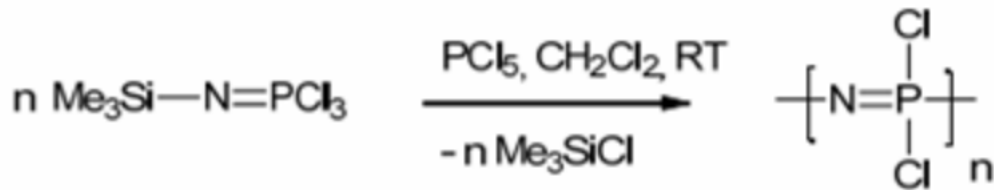
Siloksani su lanci u kojima su atomi silicija vezani preko atoma kisika, svaki atom silicija nosi jednu ili više organskih grupa.

Drugim riječima, siloksani su građivni blokovi silikonskih proizvoda. Sastavni dio siloksana predstavljaju oligomerni i polimerni hidridi sa formulama  $H(OSiH_2)_nOH$  i  $(OSiH_2)_n$ . Atomi kisika i silicija naizmjenično formiraju osnovnu strukturu u kojoj su različiti bočni lanci povezani. Bočni lanci mogu formirati veze koje utječu na svojstva polimera.

Razlikujemo četiri različite strukturne jedinice polisiloksana: [5]

- Monofunkcionalna
- Difunkcionalna
- Trifunkcionalna
- Tetrafunkcionalna.

Atomi kisika i silicija mogu biti povezani u cikličnu ili linearnu strukturu, i razlikujemo ciklične i linearne siloksane. Slika 3.5.6.1. prikazuje shematski prikaz jedinice poliksiloksana.



Slika 3.5.6.1. Shematski prikaz jedinice poliksiloksana [9]

Neka od svojstava polisiloksana su: niska toplinska vodljivost, niska kemijska reaktivnost, niska toksičnost, termička stabilnost (konstantnost svojstava u širokom temperaturnom području od -100 do 250 °C), sposobnost da odbijaju vodu (čine vodonepropusne membrane), ne podržavaju mikrobiološki rast, otporni su na kisik, ozon i ultraljubičastu (UV) svjetlost, električni izolatori, velika propusnost plinova [5].

### 3.5.6.1. Upotreba polisiloksanskih smola

Krhke su, vrlo otporne prema toplini i atmosferskim uvjetima, pa služe u pripravi visokotemperaturnih izolatora i lakova. Visoka temperaturna otpornost tih veziva (od 400 do 600 °C trajnog temperaturnog opterećenja) uz pigmentaciju s aluminijskim i drugim posebnim pigmentima, omogućuju njihovu primjenu za elektroizolacijske lakove, te premaze za zaštitu dimnjaka, ispušnih cijevi, žarnih ploča i slično.

Polisiloksani imaju široki spektar primjene no za ovaj rad važno je spomenuti protupožarne pjene (impregnacija podova kojom se sprečava širenje plamena i dima iz jedne prostorije u drugu).

## 4. Projektiranje zaštite čeličnih konstrukcija od korozije premazima

Korozijski procesi na konstrukcijskim materijalima izazivaju ogromne štete u gospodarstvu. Osim propadanja materijala, istovremeno se oslabljuju mehanička svojstva i narušava estetski izgled konstrukcije, a nastanak korozijskih produkata, kao i pojave propuštanja različitih medija u okoliš uslijed havarija izazvanih korozijom, mogu imati velike štetne ekološke posljedice.

Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija bitan je čimbenik pri projektiranju novih čeličnih konstrukcija. S obzirom na uvjete eksploatacije projektant postavlja uvjete zaštite čelične konstrukcije na neki od korozivnih razreda propisanih u normi ISO 12944-2. Norma iz 2018. godine propisuje vijek trajanja sustava zaštite koja se sastoji od temeljnog premaza i završnog sloja odnosno sustava premaza s minimalnim debljinama.

Temeljni premazi osiguravaju adheziju na podlogu i sprječavaju koroziju. Nanose se izravno na metal. Aktivna zaštita metala od korozije zasniva se na djelovanju pigmenata koji po pravilu čine više od 80% masenog udjela takvog premaza. Da bi antikorozivni pigmenti bili djelotvorni, poželjno je da budu što bliže, odnosno da prijanjaju na metal. Zato se često nanose postupcima (kistovima) kojima je moguće utrljati premaz u udubinu površine. Značajke temeljnog premaza:

- Prionjivost - jaka veza s podlogom
- Kohezija - velika čvrstoća sloja
- Inertnost - jaka otpornost na koroziju i kemikalije
- vezivanje s međupremazom
- elastičnost - da prati dilataciju podloge.

Međupremazi daju neprozirnost, povećavaju debljinu zaštitnog filma i poboljšavaju zaštitni učinak sustava. Može se sastojati od jednog ili više slojeva. Čini vezu između temeljnog i završnog sloja. Zaštitno svojstvo ostvaruje se preko listićavih pigmenata koji se slažu paralelno



s podlogom i otežavaju prodor vlage i kisika do podloge. Glavna svrha međupremaza je osigurati:

- potrebnu debljinu sustava premaza
- jaku kemijsku otpornost
- nepropusnost na vlagu
- povećani električni otpor
- jaku koheziju
- jaku vezu između temeljnoga i završnoga sloja.

Završni premazi zadovoljavaju kriterije vezane uz nijansu boje, sjaj, lakoću čišćenja, otpornost na abraziju te štite prethodne premaze od utjecaja okoline (vode, onečišćene atmosfere itd.). Nanose se povrhu svih premaza. Mogu imati i specijalnu namjenu zaštite od širenja požara, protu-klizno djelovanje, sprječavanje obrastanja podvodnih konstrukcija. Glavne funkcije:

- osigurati otpornost sustava premaza
- tvoriti prvu barijeru prema utjecajima okoline
- osigurati otpornost na kemikalije, vodu, različite vremenske uvjete
- osigurati otpornost na trošenje
- osigurati lijep izgled.

## 5. Protupožarni premazi

Protupožarni ili vatrootporni premazi smatraju se premazima posebne namjene. Najviše se koriste u građevinskom sektoru gdje je u novije doba povećana upotreba protupožarnih sustava. Postoji aktivna i pasivna zaštita od požara. Aktivna zaštita od požara uključuje metode koje zahtijevaju određeno djelovanje i reakciju kako bi se ugasio požar npr. sprinkler sustavi, sustavi za gašenje vatre. Pasivna zaštita od požara uključuje metode zaštite koje sprječavaju širenje vatre i njezin utjecaj svode na najmanju moguću mjeru npr. ekspandirajući premazi, ploče, vatro zid, pjena.

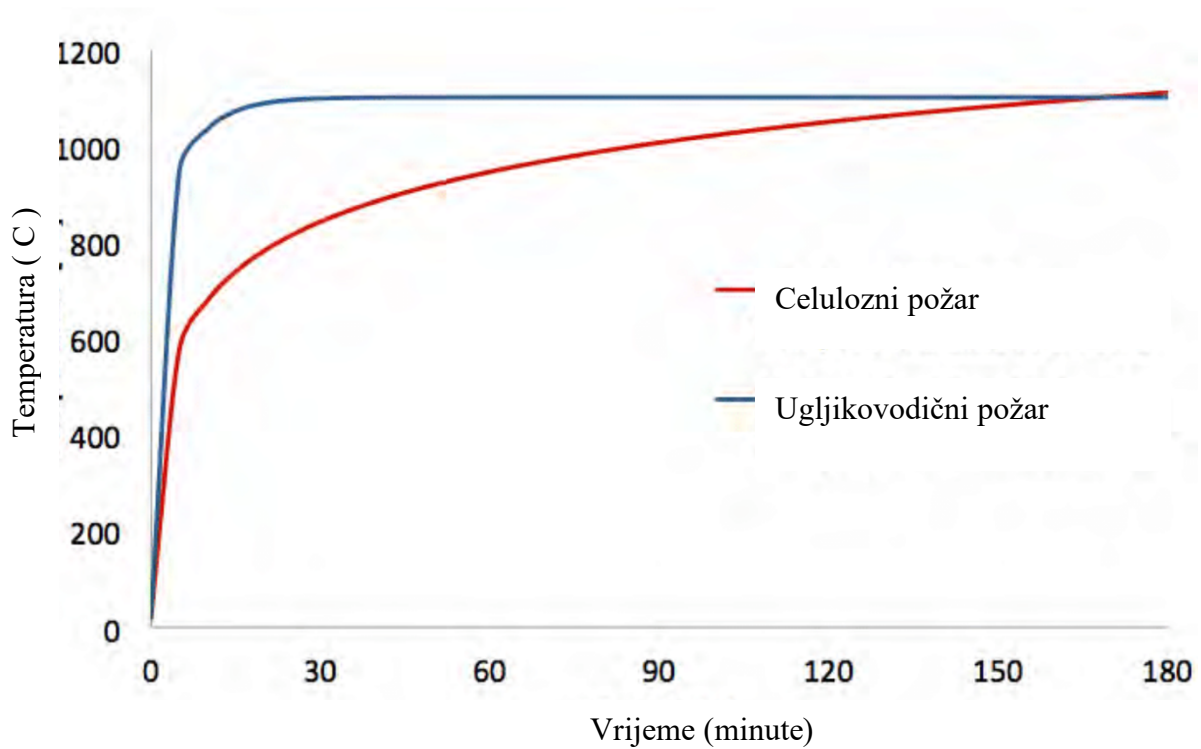
Pasivna zaštita čelika od požara se također dijeli na dvije vrste:

- Ne reaktivne vrste – ploče, anorganski premazi, pjena, zid, omot/plašt
- Reaktivne vrste – protupožarni premazi

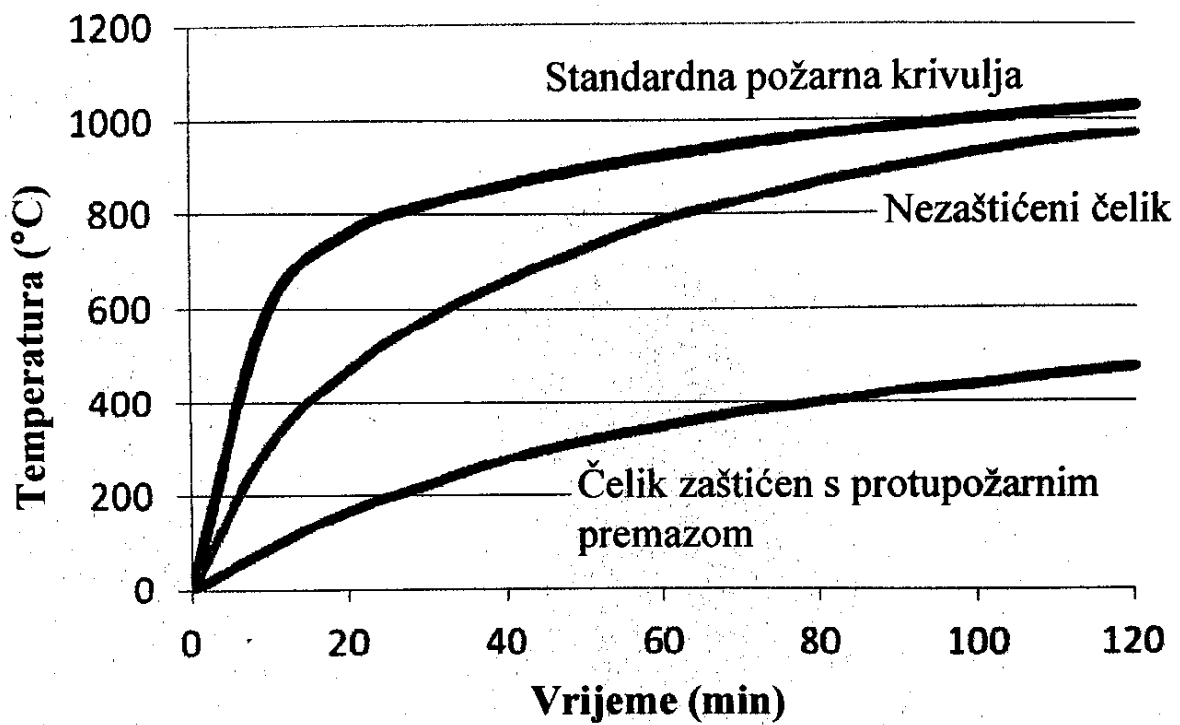
Intumescentni/ekspandirajući premaz (protupožarni premaz) je materijal koji kada je izložen toplini ekspandira formirajući izolacijski sloj, koji štiti čelik usporavanjem postizanja visokih temperatura. Nastaje nepovratna kemijska i fizikalna reakcija – stvara se struktura koja bubri i pjenu te stvara izolirajuću barijeru. Kemijski proces je endotermnog karaktera što znači da za reakciju „troši“ nastalu toplinu, pa istovremeno doprinosi efektu hlađenja čelika, tj. usporava porast temperature čelika.

Postoje dvije osnovne vrste požara, to su celulozni požari i ugljikovodični požari. Na slici 5.1. vidljiva je razlika u prirastu temperature u odnosu na vrijeme u minutama. Jasno je vidljivo kako je ugljikovodični požar opasniji i postiže veće temperature sagorijevanja. Stoga se kod odabira protupožarnog premaza jasno mora naznačiti tip zaštite u odnosu na požar. Reaktivni intumescentni premaz na temperaturama od 200 – 250 °C počinje bubriti na debljinu par puta veću od njegove originalne debljine. Konačan produkt je debeli sloj pjene koji pruža efikasnu barijeru protiv učinaka vatre i topline, formirajući izolacijski sloj, koji štiti čelik usporavajući zagrijavanje čelika do kritičnih 550 °C. Protupožarni premaz određeno vrijeme (obično 30 do 60 minuta) održava stabilnost konstrukcije i time osigurava dodatno vitalno vrijeme za evakuaciju i gašenje požara. Primjerice, za čelik kritična temperatura pri kojoj dolazi do gubitka mehaničkih svojstava iznosi 550 °C, dok je za aluminij ta temperatura 200 do 250 °C [10].

Na slici 5.1. prikazuje se ovisnost temperature o proteklom vremenu za dvije vrste požara.



Slika 5.1. Krivulje celuloznog i ugljikovodičnog požara. [10]



Slika 5.2. Učinak ekspandirajućih premaza [10]

### 5.1. Usporedba sustava otpornosti premaza na celulozni požar i požara uzrokovanog sagorijevanjem ugljikovodika

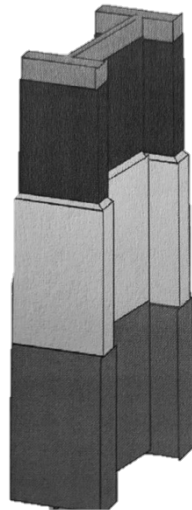
Prema tablici 5.1.1. vidljiva je usporedba premaza za zaštitu prema celuloznom požaru i požaru uzrokovanog sagorijevanjem ugljikovodika.

Tablica 5.1.1. Usporedba nanošenja premaza u odnosu na vrstu požara [11]

Ekspandirajući premazi protiv požara na tvarima na bazi celuloze	Ekspandirajući premazi protiv požara uzrokovanog sagorijevanjem ugljikovodika i motornog goriva
Još se zovu tanko-slojni ekspandirajući premazi	Još se zovu debeloslojni ekspandirajući premazi
U pravilu na bazi akrila	U pravilu na bazi epoksida
Na bazi vode ili otapala	Bez sadržaja otapala
1 komponentni	2 komponentni
Nanose se bezzračnim raspršivanjem ili valjkom	Nanose se raspršivačem za više komponenti nakon čega slijedi nanošenje lopaticom
Bijela	Siva/Plava/Bež
0,2 – 5 mm debljine suhog filma	2 – 4 mm debljina suhog filma
40 – 60 x ekspanzija	4 -10 x ekspanzija

## 5.2. Protupožarni sustav premaza

Protupožarni sustav premaza koji je vidljiv na slici 5.2.1. sastoji se od temelja, ekspandirajućeg premaza i završnog premaza.



Slika 5.2.1. Shematski prikaz protupožarnog sustava na čeličnom profilu

Temeljni premaz mora ispuniti sljedeće uvijete:

- Adhezija na podlogu u hladnom stanju
- Antikorozivna zaštita
- Adhezija čađi nastale prilikom izlaganja ekspandirajućeg premaza utjecaju vatre.

Ekspandirajući premaz:

- Pruža termičku izolaciju kod izlaganja požaru
- Doprinosi antikorozivnom učinku barijere.

Završni premaz:

- Estetska uloga
- Izolacijska uloga kako bi se spriječila preuranjena degradacija i neaktivacija ekspandirajućeg sloja
- Otpornost na atmosferilije u uvjetima krajnjeg korištenja.

### 5.3. Sastav protupožarnih premaza

Protupožarni premazi mogu biti bez otapala, na bazi otapala ili na bazi vode. Posljedni tip se koristi primarno za unutarnja područja i prostore gdje se zahtijeva poboljšana kvaliteta zraka. Termoplastični, organski sustavi se koriste kao veziva i temelje se na vinil acetatima, akrilima ili epoksidima. Njima se dodaju aktivne tvari koje reagiraju tako da tvore izolacijski karbonatni sloj kada su izložene vatri [11].

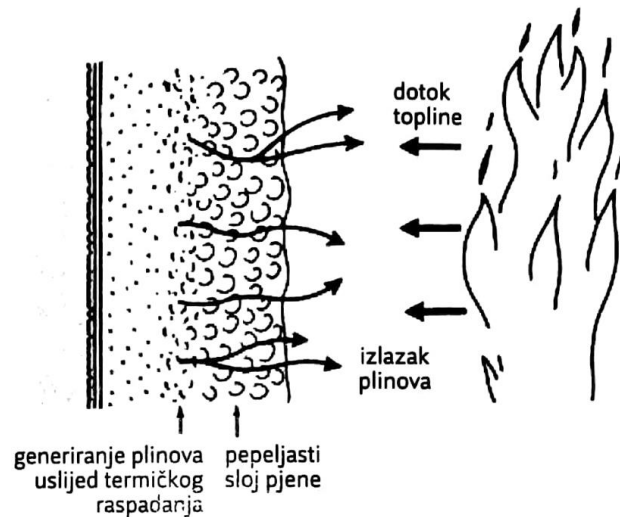
### 5.4. Postupak stvaranja ekspandirajućeg sloja

Protupožarna ekspandirajuća boja pri pojavi požara i razvoja visokih temperatura ekspandira i stvara zaštitnu izolirajuću pjenu koja usporava prijenos topline i štiti površinu od zagrijavanja na temperature pri kojima dolazi do promjene mehaničkih svojstava materijala. Ekspanzijom se volumen premaza povećava i više od 100 puta. Premaz debljine oko 1 mm, pod djelovanjem vatre ekspandira u zaštitni sloj pepeljasta krutog nanosa od oko 100 do 150 mm.

Tri su osnovne aktivne komponente ekspandirajućih boja [6]:

- katalizator: izvor kiseline, najčešće amonijev polifosfat
- izvor ugljika: u većini formulacija radi se o penteritritolu ili dipentaeritritolu
- izvor inertnog plina: najčešće melamin ili dicijandiamid koji generiraju dušik.

Proces stvaranja termoizolacijske pjene (slika 5.4.1.) iz premaza zbiva se u nekoliko faza. Pri temperaturi od oko 250 °C amonijev polifosfat se djelomično raspada oslobađajući amonijak te prelazi u polifosfornu kiselinu koja nakon toga ulazi u reakciju s poliolum, oduzimajući mu vodu. Nastaje ugljično – polifosfatna struktura, tvorno tkivo buduće pjene. U sljedećoj fazi dolazi do raspadanja komponente (npr. melamina) koja je izvor inertnog plina, oslobađa se dušik koji zatim provodi ekspandiranje materijala i stvaranje pjene [6].



Slika 5.4.1. Stvaranje izolacijske pjene pri izlaganju vatri [11]

Vrlo je važno da se proces zbiva po strogo određenoj dinamici, tj. najprije se mora stvoriti materijal za pjenu, a tek nakon toga plin koji će ga ekspanirati. Pri tome je ključno da je pjena po volumenu što veća, kompaktna i bez pukotina, dovoljno čvrsta, te da što bolje prijanja na podlogu (nastala pjena ne smije otpasti s podloge ostavljajući ju ne zaštićenu), (slika 5.4.2.) [6].



Slika 5.4.2. Ekspanirajući premaz nakon reakcije [11]

Uloga veziva je iznimno važna u konačnoj kvaliteti tih vrsta premaza. Vezivo stvara film, a o njegovoj kompaktnosti, tj. nepropusnosti ovisi svojstvo zadržavanja homogenosti i kompaktnosti stvorene pjene. Vezivo ima ključnu ulogu i za svojstva premaza u vremenu prije požara jer osigurava prevlaku dobrih fizičko – mehaničkih svojstava, odlične prionjivosti za

podlogu, otpornu na mehaničke utjecaje i različite agense, te na atmosferlije. Kao odgovarajuća veziva tijekom vremena izdvojili su se termoplastični akrilati, stirolo – akrilati i vinilkloridi [6].

### **5.5. Ispitivanje protupožarne zaštite prema normi ETAG 018-2**

Kako bi se provelo ispitivanje i usporedba efikasnosti različitih tipova protupožarnih materijala Europska organizacija za tehnička odobrenja izdala je normu naziva “ETAG N 018 Guideline for european technical approval of fire protective products; Part 2 – Reactive coatings for fire protection of steel elements“ kojom je propisan način ispitivanja otpornosti i ispravnosti protupožarnih premaza čeličnih konstrukcija.

Ispitivanje se provodi na čeličnim profilima definiranih faktora profila zaštićenim određenim protupožarnim premazom definirane debljine. Tijekom paljenja prati se porast temperature u peći i porast temperature podloge. Kad temperatura podloge na nekoliko mjernih mjesta postigne kritične vrijednosti, ispitivanje se prekida, a postignuto vrijeme se definira kao vrijeme zaštite odnosno klasa otpornosti.

Klasa otpornosti na požar određena je vremenom (30 minuta, 45 minuta, 60 minuta, 120 minuta, 180 minuta) u kojem je građevinski element ili konstrukcija u uvjetima tipičnog razvoja požara očuvao svoju stabilnost, spriječio prodor plamena ili toplinskog zračenja sukladno dopuštenim vrijednostima. Pri zaštiti čeličnih elemenata u uvjetima razvoja požara konstrukcija ne smije dostići temperaturu zagrijavanja višu od 500 °C. Otpornost na požar određuje se ispitivanjima u požarnim komorama. Na osnovi ispitivanja svaki proizvođač propisuje minimalnu propisanu debljinu protupožarnog premaza ovisno o faktoru profila za različite klase otpornosti na požar. [12]



## 6. Projektiranje protupožarnog sustava

Otpornost na celulozni požar konstrukcije označava se simbolom R. To se često postiže upotrebom sustava za zaštitu od požara. Sustav za zaštitu od požara mora biti ispitan u skladu s EN 13381 od strane akreditiranog laboratorija. Rezultati standardiziranih testova trebaju se koristiti za izradu izvješća o klasifikaciji ili dopuštenja prema EN 13501-2. Tablice s dimenzijama su dio klasifikacije, koje navode potrebnu debljinu protupožarne zaštite.

Izvođač radova zaštite od požara mora primijeniti odgovarajuću debljinu ispravnog materijala za zaštitu od požara u skladu s tablicom za dimenzioniranje debljine zaštite.

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

- Odrediti materijal i konfiguraciju protupožarnih mjera
- Razina zaštite od požara (npr. R 90)
- Informacije o traženim toplinskim naprezanjima na krivulji vreijeme/ temperatura (npr. ISO 834)
- Kritična temperatura (npr. 550 °C za čelik)
- Pojediniosti svih tipova čeličnih konstrukcija – vrsta sekcije, veličina, poprečni presjek, otvoreno/zatvoreno, izlaganje požaru.

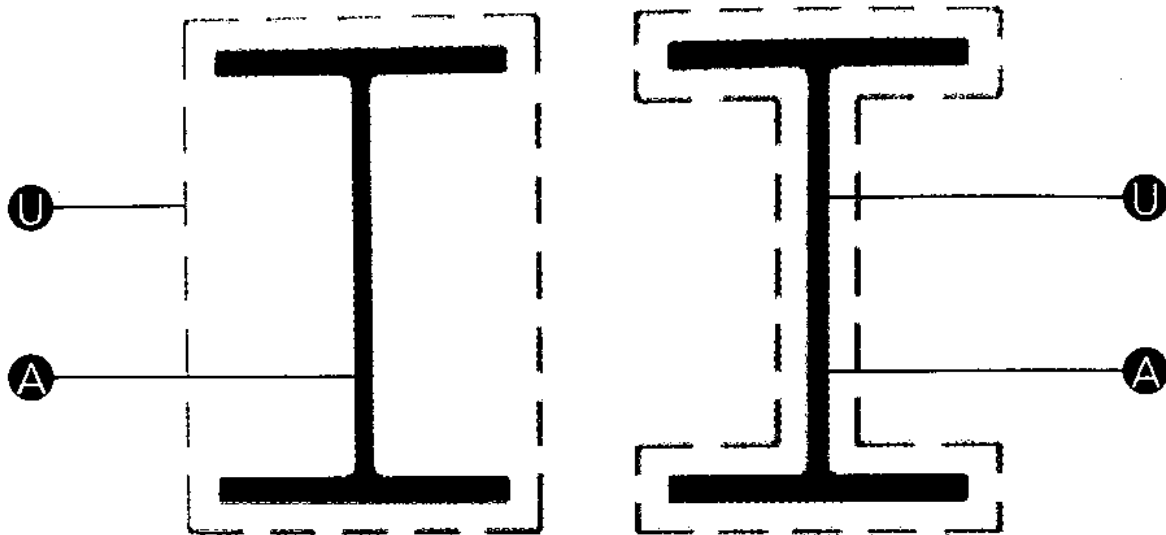
Ti ulazni podaci su polazišna točka za izračun  $A_p/V$  (omjer zahvaćenog djela opsega i površine poprečnog presjeka profila) svakog dijela konstrukcije o na temelju tih podataka određuje se minimalna debljina materijala za zaštitu od požara.

$A_p/V$  faktor je definiran kao omjer površine presjeka profila i površine profila po  $m^2$ . Područje izloženo vatri  $A_p$  višekratnik je unutarnjeg opsega mjera zaštite od požara  $U$  i duljine jedinice  $L$ . Faktor se izračunava ovisno o konfiguraciji sustava zaštite od požara. Volumen  $V$  odjeljka je višekratnik površine poprečnog presjeka  $A_{cs}$  i duljine jedinice  $L$ . U slučaju kutijaste obloge faktor  $U$  izračunat je kao zbroj bočnih dužina savršenog pravokutnika opisanog oko čeličnog dijela. U slučaju profilirane zaštite  $U$  je jednak prskanoj površini sekcije po jedinici duljine  $L$ .

Za sekciju dužine jedinice L vrijedi sljedeća formula:

$$\frac{A_p}{V} = \frac{U \times L}{A_{cs} \times 10^{-6} \times L} = \frac{U}{A_{cs} \times 10^{-6}} \quad (3)$$

Prilikom proračuna područja izloženog vatri  $A_p$  treba uzeti u obzir broj izloženih strana sekcije. Izračun se temelji na perimetru  $U$  ovisno o konfiguraciji (kutijasti ili profilirani oblik). Slika 6.1. prikazuje razliku između kutijastog i profiliranog oblika zaštite čelične grede.


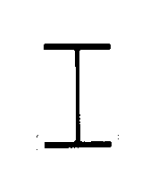
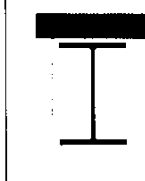
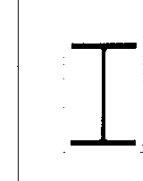


Slika 6.1 Kutijasti i profilirani oblik zaštite čelične grede [11]

Općenito, za isti faktor  $U$ , tanji profil ima veći faktor  $A_p/V$ , a masivniji profil ima niži faktor presjeka  $A/V$ . U slučaju požara, tanji profil postiže kritičnu temperaturu u kraćem vremenu od masivnijeg profila i stoga zahtjeva veću debljinu zaštitnog materijala.

Pri usporedbi konstrukcija zaštićenih na dva načina zaštite (kutijaste i profilirane) i izloženima vatri na dva načina (3 i 4 strane), nalaze se značajne razlike izračunatih vrijednosti faktora presjeka. Na primjer, profil HEA 200 ima raspon od  $108 \text{ m}^{-1}$  do  $212 \text{ m}^{-1}$ , kao što je prikazano u sljedećoj tablici 6.1. [11]

Tablica 6.1. Usporedba faktora profila nosača [11]

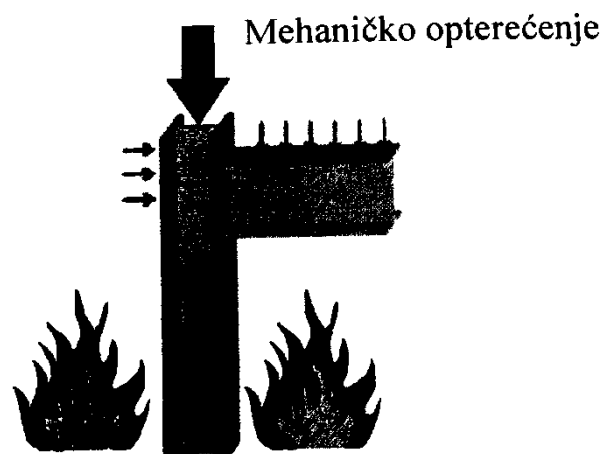
					Profilirana zaštita		Kutijasta zaštita	
								
					$(U - b) / A_{cs}$	$U / A_{cs}$	$(b + 2h) / A_{cs}$	$(2b + 2h) / A_{cs}$
HEA	h	b	U	$A_{cs}$	3-strana	4-strana	3-strana	4-strana
	m	m	$m^2 \cdot m^{-1}$	$mm^2$	$m^{-1}$	$m^{-1}$	$m^{-1}$	$m^{-1}$
160	0,152	0,160	0,906	3880	192	234	120	161
180	0,171	0,180	1,020	4530	185	225	115	155
200	0,190	0,200	1,140	5380	175	212	108	145

Požarna otpornost je definirana pojmom vremena sljedećim izrazom: Relevantno vrijeme izloženosti požaru tijekom kojeg se zadržava odgovarajuća funkcija požarne otpornosti konstrukcije usprkos požaru.

Prema Eurokodu postoje tri kriterija za određivanje otpornosti na požar:[10]

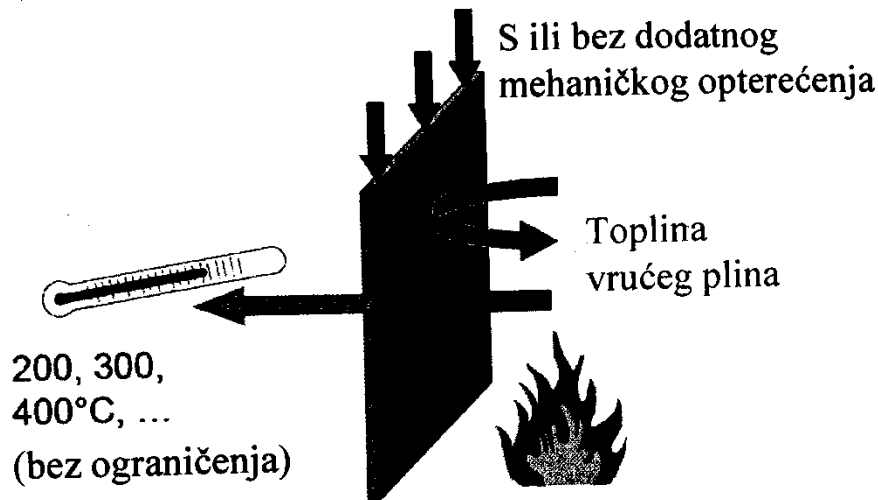
- R – funkcija otpornosti
- E – funkcija integriteta
- I – funkcija toplinske izolacije.

Funkcija otpornosti je sposobnost konstrukcije za održavanje potrebne mehaničke otpornosti u slučaju požara. Slika 6.2. prikazuje mehaničko opterećenje na čeličnu konstrukciju tijekom požara.



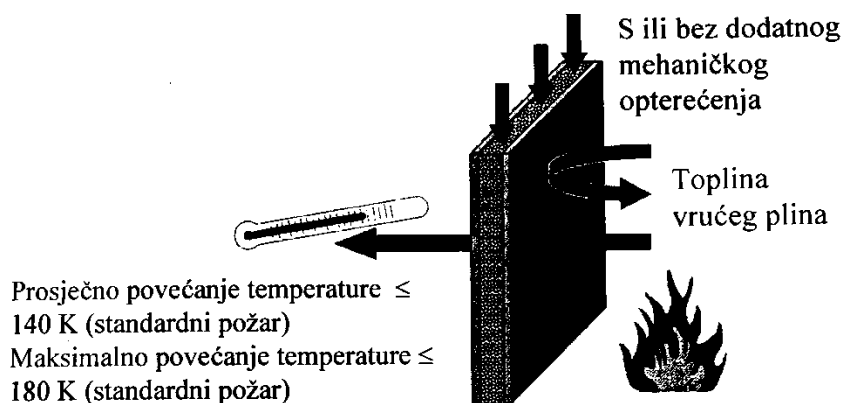
Slika 6.2. Funkcija otpornosti – R [10]

Funkcija integriteta je sposobnost konstrukcije za održavanje potrebnog integriteta koji razdvaja funkciju vrućih plinova u slučaju požara. Slika 6.3. prikazuje shematski prikaz funkcije integriteta.



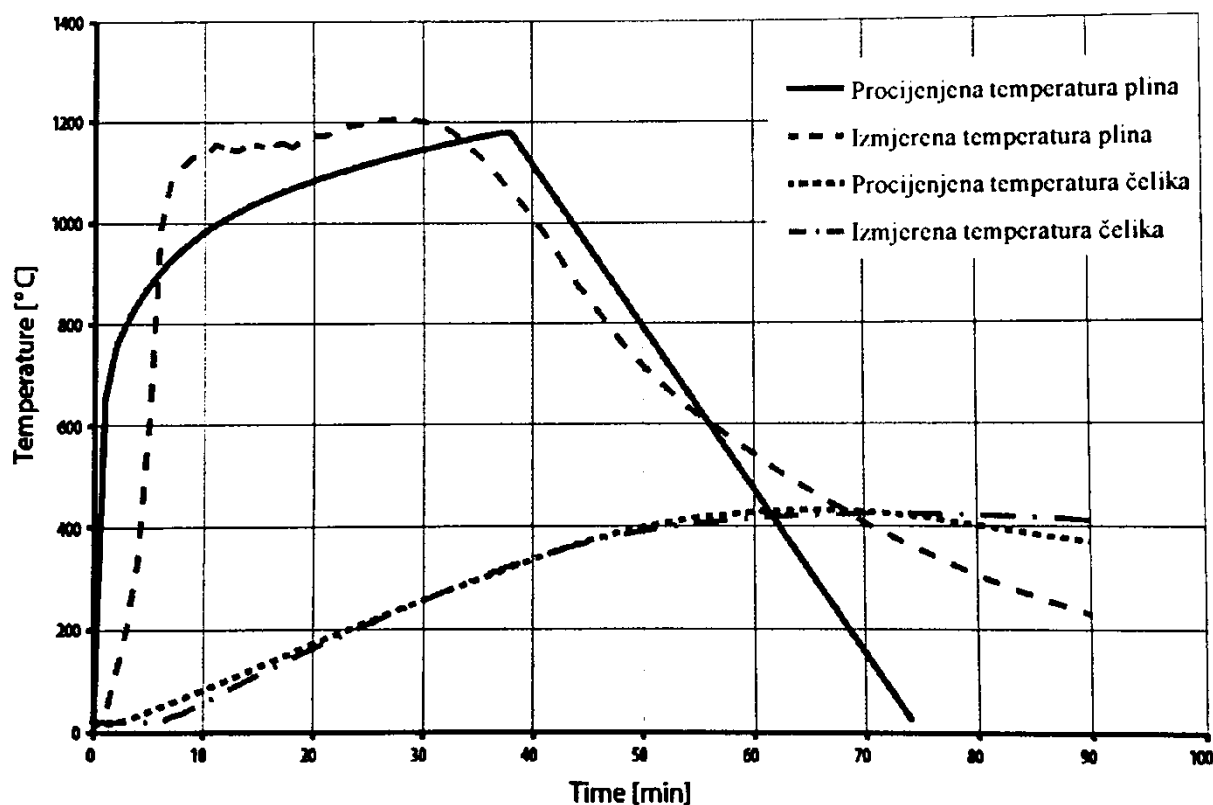
Slika 6.3. Funkcija integriteta – E [10]

Funkcija toplinske izolacije je kapacitet konstrukcije za održavanje potrebne funkcije toplinske izolacije u slučaju požara. Slika 6.4. prikazuje shematski prikaz tip konstrukcije koji zadovoljava funkciju toplinske izolacije.



Slika 6.4. Funkcija toplinske izolacije – I [10]

Za lakše razumijevanje na slici 6.5. prikazan je razvoj temperature u čeličnom elementu za vrijeme požara. Može se uočiti da atmosfera oko čelika, odnosno temperatura plina ima višestruko brži prirast temperature u odnosu na vrijeme od čelika.



Slika 6.5. Razvoj temperature u čeličnom elementu [10]

### 6.1. Primjer proračuna debljina i vrste antikorozivnog sustava za protupožarnu zaštitu čelične konstrukcije Osnovne škole

Prve i osnovne informacije koje se trebaju znati za projektiranje i određivanje tipa protupožarnog sustava zaštite čelične konstrukcije su vrsta materijala koji se štiti i konfiguracija protupožarnih mjera (kutijasta zaštita ili profilirana). Zatim razinu zaštite od požara, to može biti R30, R60, R90, R120, R180 gdje je broj pored oznake R broj minuta koje konstrukcija mora izdržati tijekom požara, odnosno u tom vremenu čelična konstrukcija ne smije zadobiti oštećenja u vidu smanjenja mehaničke čvrstoće. Sljedeće bi informacija je kritična temperatura prema kojoj se štiti konstrukcija, npr. ako se radi o Osnovnoj školi tada je zaštita na kritičnoj temperaturi od 550 °C dovoljna, no ako se radi o proizvodnim pogonima gdje u slučaju požara temperature požara mogu doseći znatno više temperature, tada kritična temperatura raste. Posljednja ulazna informacija koja je potrebna za uspješni proračun su pojedinosti svih tipova

čeličnih konstrukcija, npr. vrsta sekcije, veličina, poprečni presjek, otvoreno/zatvoreni profil, izlaganje požaru, pozicija grede itd.

### 6.1.1. Čelični profili

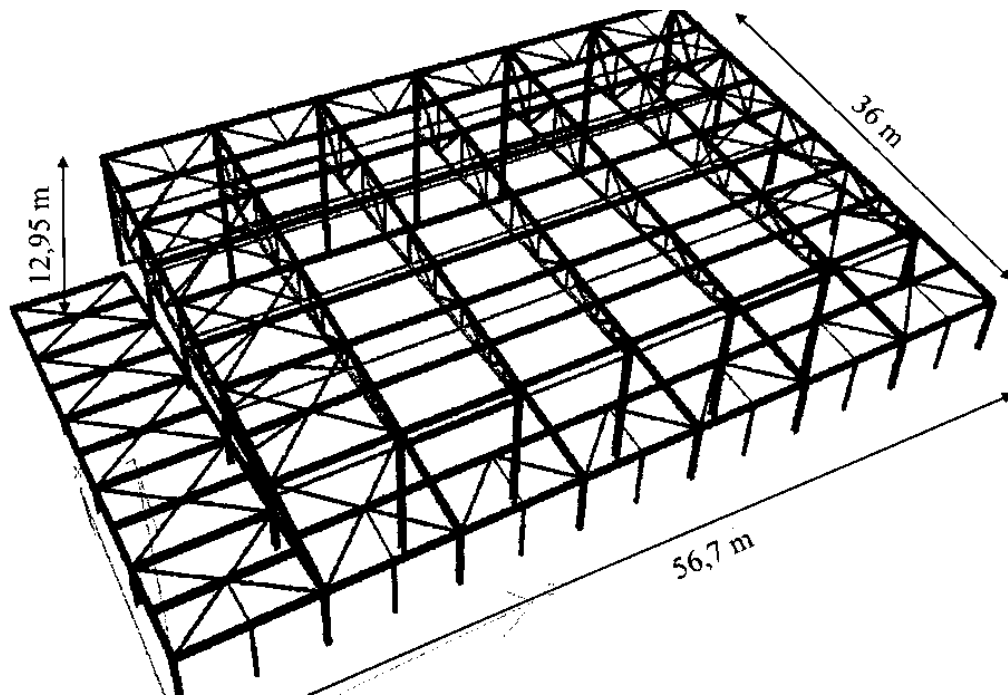
Za lakše razumijevanje, geometrijski oblik čeličnog presjeka ima veliki utjecaj na njegovo ponašanje pod uvjetima požara. Stoga se presjeci dijele u dvije skupine:

- Otvoreni presjeci: nema šupljina, profili I, H, L, T, U, C
- Zatvoreni presjeci: RHS – pravokutni šuplji presjeci, SHS – kvadratni šuplji presjeci i CHS – okrugli šuplji presjeci.

		Četverostrana	Trostrana	Trostrana (djelomično izloženo)	Dvostrana	Jednostrana (djelomično izloženo)
I i H profili		 $2b + 2h$	 $b + 2h$	 $b + 2d$	 $b + h$	 $b$
T profili		 $2b + 2h$	 $b + 2h$	 $b + 2h$		
L profili		 $2b + 2h$	 $b + 2h$	 $b + 2h$		
U profili		 $2b + 2h$	 $2b + h$	 $b + 2h$		
Kvadratni ili pravokutni šuplji presjeci		 $2b + 2h$	 $b + 2h$			
Okrugli šuplji presjeci		 $\pi D$	<p><b>Faktor profila</b>            NAPOMENA: Zračni prostor stvoren u prostoru kružnog dijela poboljšava izolaciju i vrijednost <math>A_p/V</math>. Stoga bi bio <math>A_p</math>, veći od zaštite profila (P), anormalan. Dakle, <math>A_p</math> se uzima kao opseg kružnog dijela (<math>\pi D</math>), a ne <math>4D</math>.</p>			

Slika 6.1.1.1. Vrste profila koji se mogu štititi protupožarnim premazima. [11]

### 6.1.2. Odabir sustava i proračun debljina suhog filma



Slika 6.1.2.1. Nacrt željezne konstrukcije dvorane Osnovne škole

Popis čeličnih profila i zahtjevi na protupožarnost mogu se vidjeti u tablici 6.1.2.1. Popis dostavlja projektant ili izvođač radova prema kojem se računa ukupna potrošnja premaza te tip premaza koji će se primijeniti sa odgovarajućim debljinama suhog filma.

Tablica 6.1.2.1. Popis čeličnih profila i zahtjevi na protupožarnost

Vrsta Profila	Težina (kg)	Izloženost	R (min)	DFT	Temperatura C	Faktor profila $A_p/V$
<b>HEA 200</b>	1200	3	30		550	
<b>IPE 180</b>	2367	3	60		550	
<b>HEA 200</b>	821	4	60		550	

Ukupnu površinu po profilu čelične konstrukcije bitno je izračunati radi potrošnje materijala i izračuna cijene zaštite konstrukcije. Tako se dobivaju rezultati faktora profila za IPE 180 čije su dimenzije profila 180 mm visine, 91 mm širine, 5,3 mm hrbata te prirubnice 8,0

mm za trostranu zaštitu u iznosu od  $254 \text{ m}^{-1}$ . Za profil HEA 200 dimenzija 190 mm visine, 200 mm širine, 6,5 mm hrbata te prirubnice 10,0 mm za trostranu zaštitu faktor profila iznosi  $175 \text{ m}^{-1}$ . Faktor profila za HEA 200 sa četverostranom zaštitom iznosi  $212 \text{ m}^{-1}$ . Može se uočiti trend smanjenja faktora profila s obzirom na veličinu profila, odnosno što je profil deblji i njegov presjek ima veću površinu to je faktor profila  $A_p/V$  manji te su potrebne debljine protupožarnog premaza manje. Tablica 6.1.2.2. prikazuje popis profila sa unesenim vrijednostima faktora profila.

Tablica 6.1.2.2. Popis čeličnih profila i zahtjevi na protupožarnost sa faktorima profila

Vrsta Profila	Težina (kg)	Izloženost	R (min)	DFT ( $\mu\text{m}$ )	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Faktor profila $A_p/V$
<b>HEA 200</b>	1200	3	30		550	175
<b>IPE 180</b>	2367	3	60		550	254
<b>HEA 200</b>	821	4	60		550	212

Debljine suhog filma vatrootpornog premaza propisane su normom ETAG 018-02. Za odabir potrebne debljine potrebni su podaci o kritičnoj temperaturi i faktoru profila. Svaki proizvođač protupožarnog premaza mora propisati debljine premaza za svoj proizvod. Taj broj nije jednak za sve premaze, već ovisi i o kvaliteti premaza. Recimo da je izvođač radova tražio protupožarni premaz PROMAPAINTE SC3 svjetski poznatog proizvođača PROMAT. Njihov protupožarni premaz za ove faktore profila i kritične temperature daje minimalne debljine premaza koje su prikazane u tablici 6.1.2.3.

Tablica 6.1.2.3. Minimalne debljine suhog filma

Vrsta Profila	Težina (kg)	Izloženost	R (min)	DFT ( $\mu\text{m}$ )	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Faktor profila $A_p/V$
<b>HEA 200</b>	1200	3	30	1845	550	175
<b>IPE 180</b>	2367	3	60	1845	550	254
<b>HEA 200</b>	821	4	60	1845	550	212



U tablici 6.1.2.3. je vidljivo da su debljine jednake za sve tri vrste profila, to se dogodilo zbog toga što su ispitivanja za vatrootporne premaze jako skupa te je proizvođač testirao premaz na tu debljinu za tu kritičnu temperaturu te kako je sustav zadovoljio proizvođač više nije testirao na druge debljine.

Kada se dobije odgovarajuća debljina protupožarnog premaza vrijeme je da se konstrukcija zaštiti antikorozivno. Za to postoje sustavi sa tri premaza. Temeljni premaz, ovisno o površini na koju se nanosi, intumescentni premaz (vatrootporni) te završni premaz koji će dati estetski izgled, a i štite od vanjskih eksploatacijskih uvjeta.

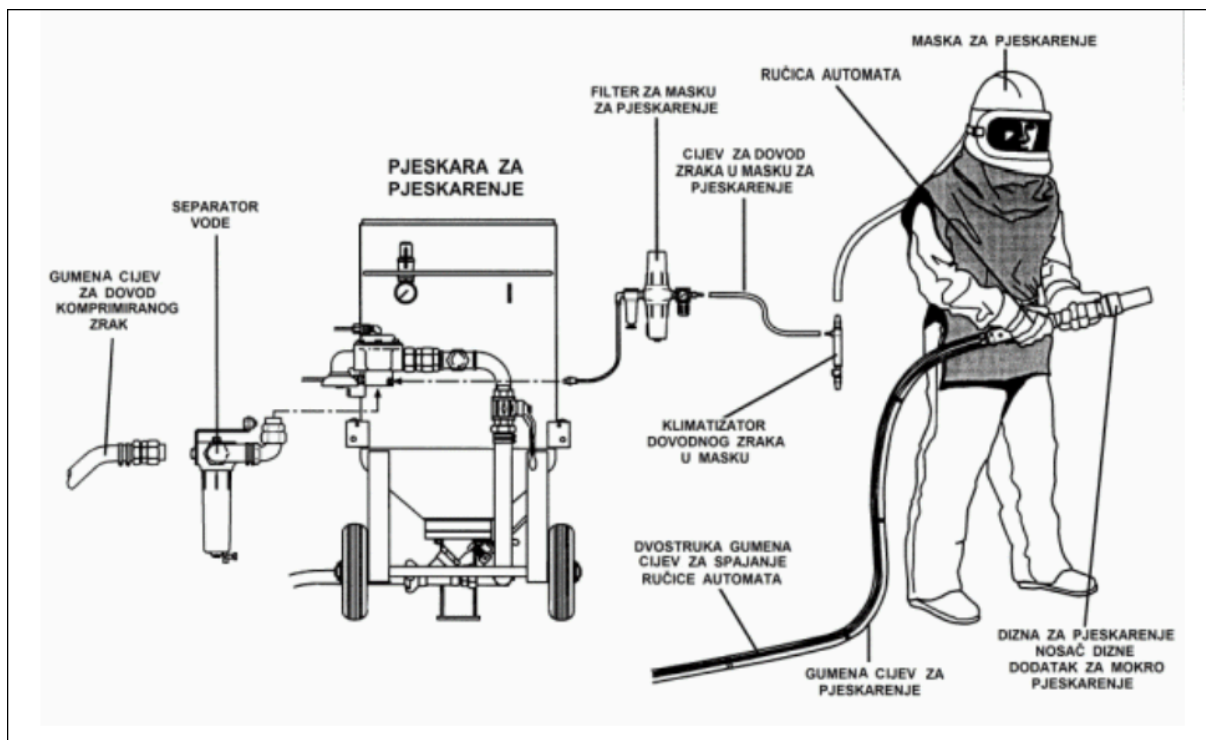
### **6.1.3. Antikorozivna zaštita čelične konstrukcije**

S obzirom da je vatrootporni premaz na bazi vode, svaka voda koja dopre do njega može naštetiti funkciji samog premaza, stoga se u sustavu zajedno s protupožarnim premazom koriste i temeljni i završni sloj koji će štititi protupožarni premaz od vanjskih utjecaja te ujedno pružiti antikorozivnu zaštitu samoj čeličnoj konstrukciji. Antikorozivnih premaza ima jako puno, stoga se sustav bira s obzirom na cijenu, ali i ovisi o površini na koju se nanosi (konstrukcijski čelik, cink, aluminiji...). Izvođač radova je kontaktirao proizvođača HELIOS koji u svojoj ponudi nudi sustav sa protupožarnim premazom. To je temeljni premaz na bazi alkida HELIOFAST 11-30 u debljini od 100 µm te završni premaz na bazi poliuretana koji je otporan na UV zračenja naziva REZISTOL 2K PUR u debljini od 80 µm DSF.

### **6.1.4. Priprema površine**

Prije nanošenja bilo kojeg premaza na površinu preporuča se odmastiti i pripremiti površinu pjeskarenjem na stupanj Sa 2 ½ prema normi ISO 8501-1. Vrlo je važno da temeljni sloj dobro prione na površinu jer je on nosioc sustava te zahtjeva najveću otpornost na delaminaciju sustava.

Stupanj pripreme površine iznimno je bitan kod odabira valjanog sustava premaza pri antikorozivnoj zaštiti konstrukcije. Kada mogućnosti ne dopuštaju pjeskarenje u radioni, tada se pjeskaranje vrši i na terenu pomoću prijenosnog uređaja za pjeskarenje. (Slika 6.1.4.1.)



Slika 6.1.4.1. Prijenosni uređaj za pjeskarenje [12]

Pjeskarenje je postupak modificiranja površine mehaničkom hladnom obradom. Pri postupku se izravno sudaraju kuglice sredstva s površinom materijala kod velike brzine u kontroliranim uvjetima. Pjeskarenje čisti obrađivanu površinu, no osnovna funkcija je povećanje zamorne čvrstoće jer površinska tlačna naprezanja kod udara mlaza abraziva smanjuje mogućnost širenja zamorne pukotine. Postiže se još i smanjenje vlačnih naprezanja i veća otpornost prema koroziji.

Intenzitet pjeskarenja ovisi o brzini, tvrdoći, veličini i masi kuglica te o kutu pod kojim one udaraju u obrađivanu površinu. Kuglice koje se koriste u pjeskarenju su od željeza, čelika ili stakla. U praktičnom djelu rada za postupak pjeskarenja koriste se čelične kuglice kao abrazivni medij. One se izrađuju u poboljšanom stanju na tvrdoću 40-50 HRC-a. U tablici 7.1.1. vidljiva je procjena kvalitete pjeskarene površine.

Tablica 6.1.4.1. Procjena kvalitete pjeskarene površine, norma ISO 8501-1

O z n a k a	O p i s
Sa 3	<p><b>Čišćenje mlazom abraziva do čistog čelika</b></p> <p>Kad se promatra bez uvećanja, površina mora izgledati tako da se na njoj ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te na njoj ne smije biti prisutne okujine, hrđe, premaza ili stranih tijela. Površina mora imati jednoobraznu metalnu boju.</p>
Sa 2 1/2	<p><b>Vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva</b></p> <p>Kad se promatra bez uvećanja, površina mora izgledati tako da se na njoj ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te na njoj ne smije biti prisutne okujine, hrđe, premaza ili stranih tijela. Bilo koji ostali tragovi onečišćenja smiju se pojaviti samo u obliku laganih mrlja u vidu pjega ili pruga.</p>
Sa 2	<p><b>Temeljito čišćenje mlazom abraziva</b></p> <p>Kad se promatra bez uvećanja, površina mora izgledati tako da se na njoj ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te na njoj smije biti prisutna tek neznatna količina okujine, hrđe, premaza ili stranih tijela. Eventualna onečišćenja u tragovima moraju čvrsto prijanjati uz podlogu</p>
Sa 1	<p><b>Lagano čišćenje mlazom abraziva</b></p> <p>Kad se promatra bez uvećanja, površina mora izgledati tako da se na njoj ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te slabo prijanjajuća okujina, hrđa, premaz ili strano tijelo</p> <p><b>Napomene:</b></p> <p>Izraz "strano tijelo" može uključiti vodotopive soli i ostatke zavarivanja. Ta onečišćenja nije uvijek moguće u potpunosti odstraniti sa površine suhim abrazivnim čišćenjem, ručnim ili strojnim alatom te plamenom, te se stoga može ukazati potreba za mokrim abrazivnim čišćenjem ili čišćenjem vodenim mlazom.</p> <p>Smatra se da okujina, hrđa ili premaz slabo prijanjanju ako ih je moguće odstraniti tupom špatulom.</p>

## 7. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su ispitivanja debljine premaza, ispitivanja u slanoj komori, ispitivanja u vlažnoj komori, ispitivanja prionjivosti, ispitivanja vatrootpornosti, te ispitivanja prema normi ISO 4628. Cilj ispitivanja bio je utvrditi otpornost protupožarnog premaza na otvoreni plamen nakon izlaganja korozivnim uvjetima ovisno u sustavu antikorozivne zaštite koja se primjenjivala u sustavu sa protupožarnim premazom. Svaki uzorak je premazan s temeljnim premazom, vatrootpornim premazom i završnim premazom. Ispitane su dvije skupine uzoraka, jedna klase otpornosti R30 i jedna klase otpornosti R60. Ispitivanja su provedena u laboratoriju tvrtke HELIOS TBLUS Slovenija, HELIOS Hrvatska i u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

### 7.1. Priprema uzoraka

Sukladno normi ISO 12944-6 metalne pločice koje su korištene u ispitivanjima napravljene od nelegiranog čelika dimenzija 100 mm x 150 mm x 5 mm te su s obje strane pjeskarene na stupanj čistoće Sa 2.5.



Slika 7.1.1. Ispitna pločica dimenzija 100 mm x 150 mm x 5 mm

Pjeskarenjem pločica dobila se vrijednost površinske hrapavosti koju je bitno uračunati u proračun potrošnje materijala premaza, odnosno bitno je izračunati koliko će premaza „upiti“ hrapavost površine pločice kako bi se mogla osigurati propisana debljina premaza na pločici. Mjerenje hrapavosti površine moguć je s električnim prijenosnim uređajem „ELCOMETER 224“ koji spada pod mjerne uređaje s ticalom. Iznos koji se dobije mjerenjem ne predstavlja stvarnu hrapavost površine nego se uzima trostruko manja vrijednost od prikazane kao stvarna hrapavost površine relevantna za potrošnju premaza, odnosno korištenjem pretvorbenog faktora se dobiva „mrtvi volumen“. Slika 7.1.2. prikazuje način mjerenja hrapavosti površine na pjeskarenom uzorku.



Slika 7.1.2. ELCOMETER 224 – mjerenje hrapavosti površine

Tablica 7.1.2. Rezultati mjerenja hrapavosti površine

Hrapavost površine u $\mu\text{m}$			
	minimum	maksimum	prosječna
<b>Uzorak 100x150x5</b>	27,1	59,2	36

## 7.2. Nanošenje temeljnog premaza

Uzorci su podijeljeni u dvije skupine kako je vidljivo u tablici 7.2.1. Prva skupina uzoraka sastoji se od temeljnih premaza debljine 80  $\mu\text{m}$ , protupožarnih premaza debljine 180  $\mu\text{m}$ , te završnih premaza debljine suhog filma 80  $\mu\text{m}$ . Ta skupina uzoraka se testirala na klasu otpornosti R30. Druga skupina uzoraka sastoji se od temeljnih premaza debljine 80  $\mu\text{m}$ , protupožarnih premaza debljine 830  $\mu\text{m}$ , te završnih premaza debljine suhog filma 80  $\mu\text{m}$ . Ta skupina uzoraka testirala se na klasu otpornosti R60.

Tablica 7.2.1. Uzorci

	Temeljni premaz			Protupožarni premaz		Završni premaz		
	vezivo	komp.	DSF	klasa	DSF	vezivo	komp.	DSF
1.	alkid	1K	80	R30	180	alkid	1K	80
2.	alkid	1K	80	R30	180	poliuretan	2K	80
3.	epoksid	2K	80	R30	180	poliuretan	2K	80
1.	alkid	1K	80	R60	830	alkid	1K	80
2.	alkid	1K	80	R60	830	poliuretan	2K	80
3.	epoksid	2K	80	R60	830	poliuretan	2K	80

Sustavi premaza koji su korišteni na uzorcima proizvod su tvrtke HELIOS. U tablici 7.2.2. mogu se vidjeti glavne karakteristike korištenih premaza.

Tablica 7.2.2. Tehničke karakteristike korištenih premaza tvrtke HELIOS

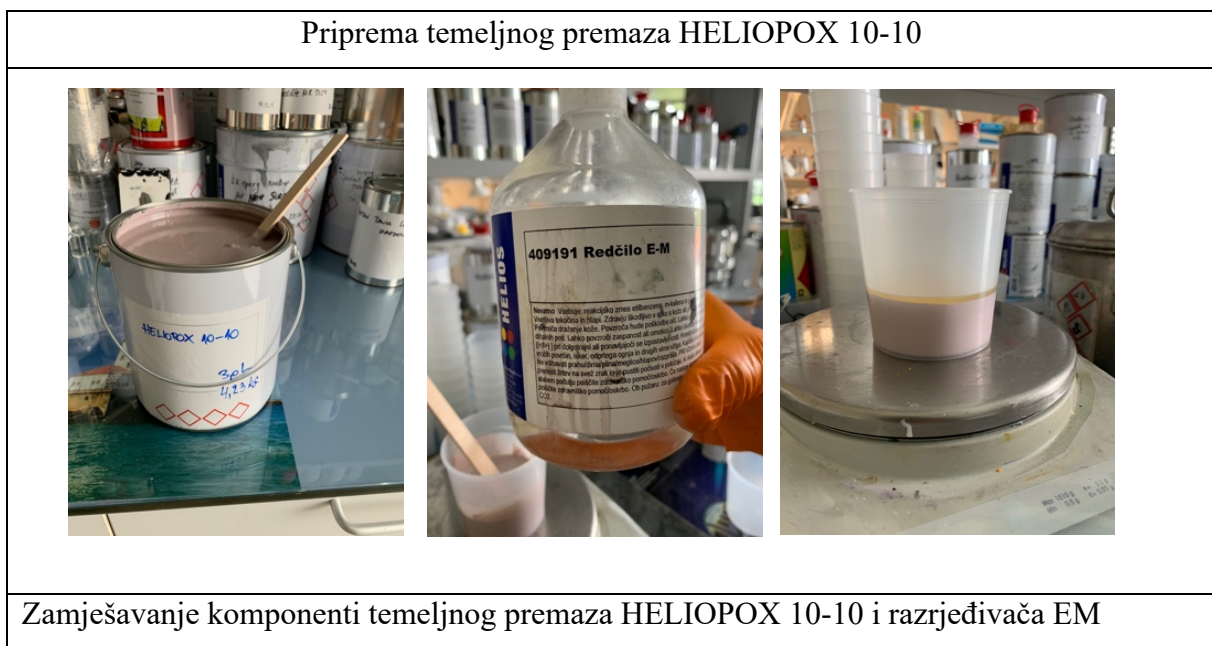
	naziv	Vezivo	1K/2K	razrj.	DSF ( $\mu\text{m}$ )	% vol	omjer
1.	Heliopox 11-30	alkid	1K	Razrjeđivač ES	60-80	55	-
2.	Heliopox 10-10	epoksid	2K	Razrjeđivač EM	80-120	54	10:1
3.	Promapaint SC4	voda	1K	voda	100-6000	68	5%
4.	Rezistol emajl 2K PUR	poliuretan	2K	Razrjeđivač 2K PUR	60-80	50	4:1
5.	Rezistol emajl A	alkid	1K	Razrjeđivač A	60-80	51	-

U tablicama 7.2.3., 7.2.4., 7.2.5., 7.2.6., 7.2.7., 7.2.8. prikazan je proces pripreme premaza za nanošenje i sami proces nanošenja.


Tablica 7.2.3. Priprema temeljnog premaza HELIOFAST 11-30




Tablica 7.2.4. Priprema temeljnog premaza HELIOPOX 10-10



Tablica 7.2.5. Oprema za nanošenje premaza

Načina nanošenja premaza

Temeljni premazi nanošeni su zračnim pištoljem dizne veličine 1,4 mm.

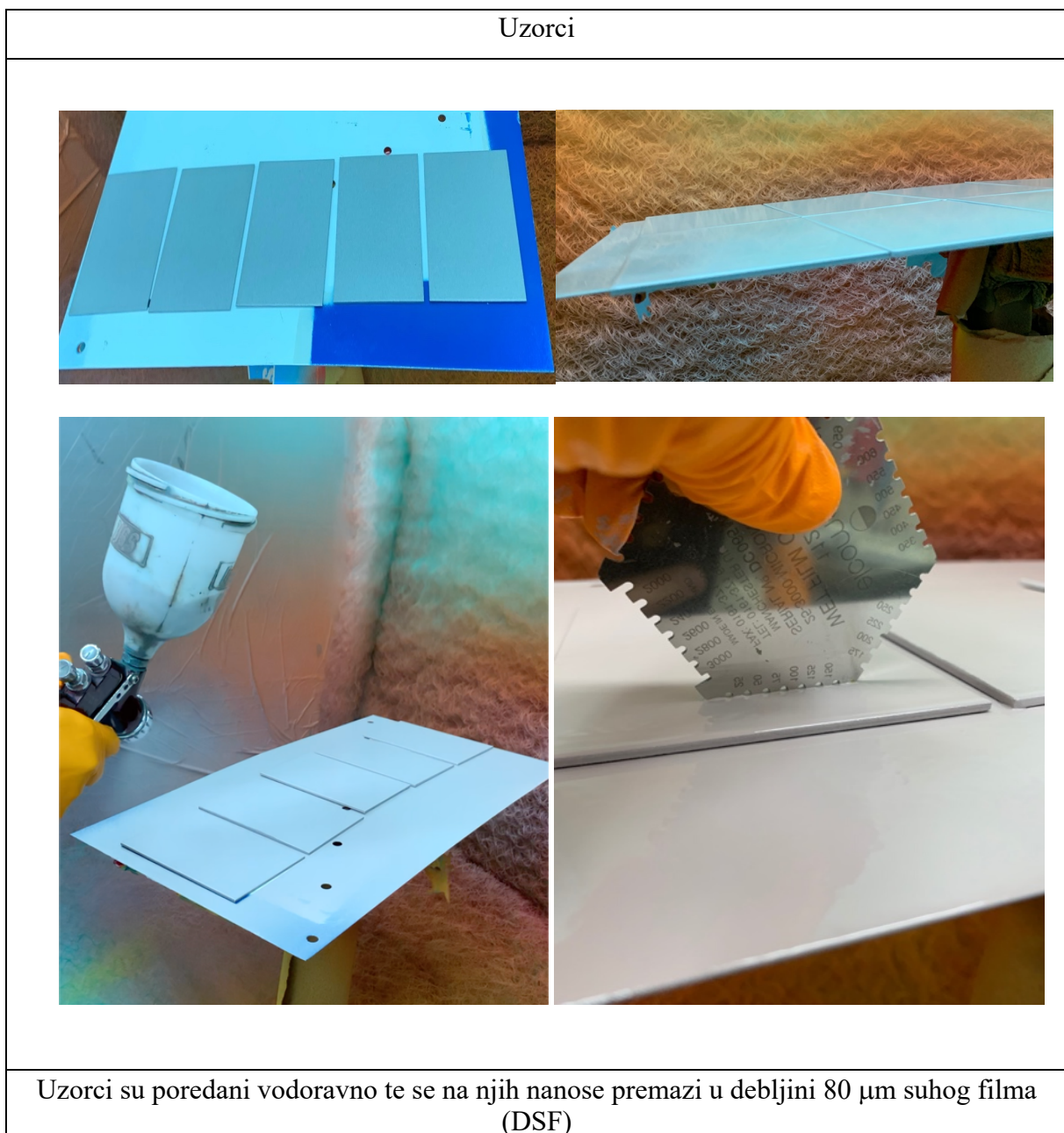
Tablica 7.2.6. Mjerenje parametara

Mjerenje parametara

Prije samog nanošenja potrebno je izmjeriti vlagu i temperaturu lakirnice te temperature samih premaza



U tablici 7.2.6. je vidljivo da je temperatura premaza HELIOFAST 11-30 iznosi 19,8 °C, dok temperatura premaza HELIOPOX 10-10 iznosi 20,9 °C. Razlika u temperaturama premaza može se pripisati kemijskim reakcijama unutar dvokomponentnog premaza nakon miješanja komponenti. Iako je temperatura premaza HELIOPOX 10-10 jedan stupanj veća od temperature premaza HELIOFAST 11-30, preporuka proizvođača je da temperatura premaza bude oko 20 °C, stoga to zadovoljava preporuku proizvođača.

Tablica 7.2.7. Nanošenje premaza



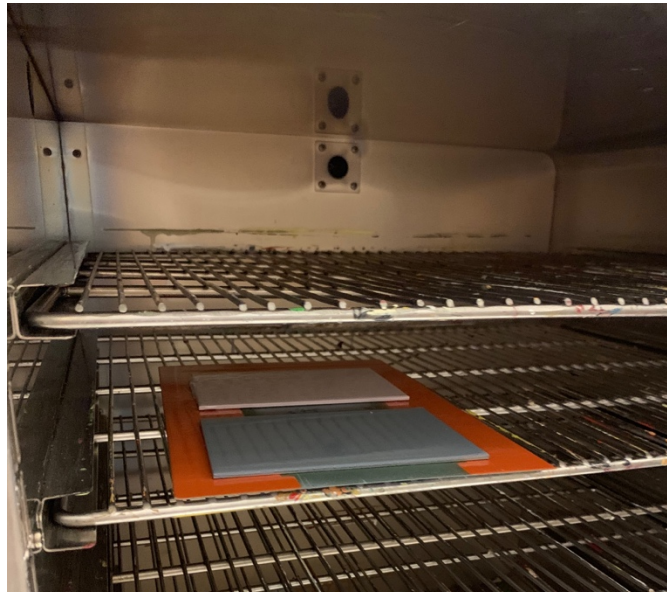
Debljina mokrog filma (DMF) može se izračunati pomoću izraza (4).

$$DMF = \frac{\text{Debljina suhog filma (DSF)} \times 100}{\text{Volumni udio suhe tvari}} \quad [\mu\text{m}] \quad (4)$$

S obzirom da je volumni udio suhe tvari 55% u premazu HELIOFAST 11-30, uvrštenjem u izraz lako dolazimo do debljine mokrog filma u iznosu od 145  $\mu\text{m}$ , no s obzirom na mrtvi volumen odnosno hrapavost površine potrebno je dodati još 22,7  $\mu\text{m}$  mokrog filma kako bi se dobilo stvarnih 80  $\mu\text{m}$  DSF.

Kod zračnog prskanja se upotrebljavaju pištolji u koje se uvodi zrak pod tlakom 0,12 do 0,5 MPa, i drugim vodom premazno sredstvo koje se pod utjecajem zraka raspršuje na radne komade. Posebnim pištoljima moguće je nanositi i višekomponentne premaze. Premazno sredstvo se u pištolj nasisava iz spremnika koji je montiran ispod raspršivača, i to podtlakom koji nastaje na ušću zračne mlaznice, ili se gravitacijom, odnosno stlačenim zrakom tlači iz spremnika. Za razliku od nanošenja boje četkama ili valjcima kod nanošenja prskanjem potrebno je prilagoditi viskoznost boje. Viskoznost za obično tzv. hladno zračno prskanje se snižava dodavanjem razrjeđivača u boje, što naravno produžava sušenje, daje tanje slojeve koji su i porozniji, povećava opasnost od požara i nepovoljno ekološki djeluje. Ušće pištolja je kod rada udaljeno od uzorka 150-200 mm, a mlaz je širok otprilike 300 mm. Nedostatak ovog postupka je veliki gubitak boje koji iznosi od 20 do 50 %. Glavna je prednost zračnog prskanja ravnomjerna debljina prevlake, njen visoko estetski dojam i visoka produktivnost. Kod nanošenja boje mlaz treba udarati okomito na podlogu, a treba se i pridržavati pravila da se uspravne i kose plohe počinjju prskati odozgo, a vodoravne od bližeg prema udaljenijem kraju.

Nakon nanošenja temeljnog premaza, dva probna uzorka su stavljena u peć na temperaturu od 80 °C u trajanju od 30 min kako bi nakon ubrzanog procesa sušenja mogli utvrditi debljinu suhog filma. Na slici 7.2.1. mogu se vidjeti uzorci u peći za ubrzano sušenje.



Slika 7.2.1. Uzorci u peći za ubrzano sušenje

Mjerenje debljina suhog filma vrši se uređajem „ELCOMETER 456“, a izgled uređaja je prikazan na slici 7.2.16. Prije početka mjerenja debljine suhog sloja premaza, uređaj je bilo potrebno umjeriti korištenjem etalona. Uređaj mjeri debljinu premaza magnetskom metodom. Ta metoda radi na principu privlačnih sila između permanentnog magneta i magnetične metalne podloge, koje su obrnuto proporcionalne s udaljenošću među njima. Ova vrsta mjerenja spada u nerazorne metode mjerenja. Za svaki uzorak provedeno je po 5 mjerenja te je naknadno za svaki uzorak izračunata vrijednost aritmetičke sredine. Vrijednosti aritmetičkih sredina debljine suhog filma premaza za uzorke dane su u tablici 7.2.2.

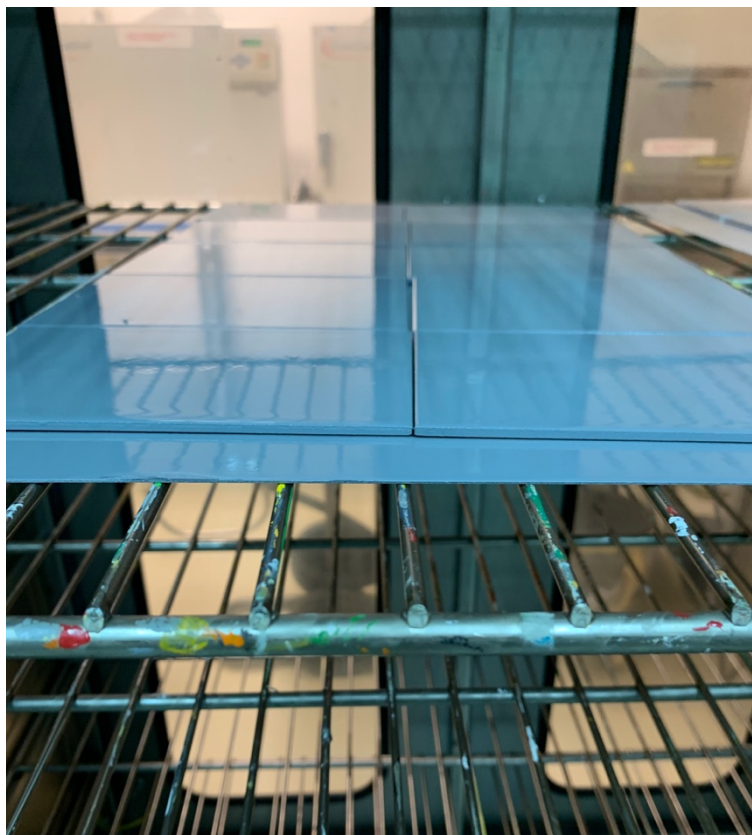


Slika 7.2.2. Uređaj za mjerenje debljine suhog filma „ELCOMETER 456“

Tablica 7.2.9. Vrijednosti debljine suhog filma premaza

Uzorak	Minimalna debljina u $\mu\text{m}$	Maksimalna debljina u $\mu\text{m}$	Aritmetička sredina u $\mu\text{m}$
<b>HELIOFAST 11-30</b>			
	69,3	87,9	79,7
<b>HELIOPOX 10-10</b>			
	64,9	83,3	78,2

Iz tablice 7.2.9. vidljivo je da su uzorci zadovoljili s debljinama suhog filma te su zatim svi uzorci stavljeni u komoru na sobnu temperaturu na sušenje u trajanju od 48 h. (Slika 7.2.3.)



Slika 7.2.3. Uzorci u komori na sobnoj temperaturi

### **7.3. Nanošenje vatrootpornog premaza**

Vatrootporni premaz PROMAPAINTE SC4 proizvođača PROMAT vodorazrjeđivi je premaz sa 68% volumne suhe tvari. Premaz je nanesen na setove uzoraka na temeljni premaz u debljini od 180  $\mu\text{m}$  na set uzoraka koji će se ispitivati na klasu otpornosti R30, te na set uzoraka koji će se ispitivati na klasu otpornosti R60 u debljini od 830  $\mu\text{m}$ . Premaz je iznimno gust, te ga se može usporediti čak i sa kitom (slika 7.3.1.). Za uspješno nanošenje potrebno ga je razrijediti s vodom i to u količini koja je dovoljna za lakše nanošenje.



Slika 7.3.1. Nanošenje vatrootpornog premaza PROMAPAINTE SC4, Chromos Zagreb

Nakon razrjeđivanja s vodom i to u omjeru od čak 4:1, premaz je bio spreman za nanošenje na uzorke. Premaz je nanošen kistom, odnosno četkom, a preporuka proizvođača je da kod korištenja premaza kistom ili valjkom maksimalna debljina nanosa pojedinog sloja bude  $350 \mu\text{m}$  suhog filma (približno  $515 \mu\text{m}$  mokrog filma). Temperatura primjene mora biti između  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Slika 7.3.2. Nanošenje i sušenje premaza PROMAPAIN T SC4 Klase R60

Na prvi set uzoraka koji se testirao na klasu otpornosti R30 bilo je potrebno nanijeti 180  $\mu\text{m}$  suhog filma, odnosno 265  $\mu\text{m}$  mokrog filma. Premaz je bio lako razmaziv nakon razrjeđivanja s vodom te se tražena debljina brzo i postigla. Na drugi set uzoraka koji se testirao na klasu otpornosti R60 bilo je potrebno nanijeti 830  $\mu\text{m}$  suhog filma, odnosno 1220  $\mu\text{m}$  mokrog filma. Pošto je preporuka proizvođača da se u jednom nanosu ne nanose debljine veće od 350  $\mu\text{m}$  suhog filma, za ovaj set uzoraka nanošenje se ponavljalo 3 puta. Na slici 7.3.2. su vidljivi uzorci nakon premazivanja s premazom PROMAPAIN T SC4. Debljine mokrog filma mjerene su metodom korištenja češlja.

Nakon premazivanja svih setova uzoraka, svi uzorci su stavljeni u peć za ubrzano sušenje na temperaturu od 50 °C u trajanju od 24 h kako bi se intumescentni sloj premaza brže osušio kako je u njega dodano 25% vode radi lakšeg nanošenja.

Nakon sušenja premaza uzorci su podvrgnuti mjerenju debljina suhog filma na isti način kao što je opisano na prethodnim stranicama ovog rada. U tablici 7.3.1. mogu se iščitati vrijednosti debljina suhog filma uzoraka.

Tablica 7.3.1. Vrijednosti debljina suhog filma nakon nanošenja protupožarnog premaza

Uzorak	Debljina prije nanošenja	Minimalna debljina u $\mu\text{m}$	Maksimalna debljina u $\mu\text{m}$	Debljina PP sloja u $\mu\text{m}$	Aritmetička sredina u $\mu\text{m}$
<b>Klasa otpornosti R30</b>					
1.	81,7	232,1	292,5	183,5	265,2
2.	81,6	264,0	292,2	189,4	271,0
3.	78,7	252,9	289,4	182,7	261,4
<b>Klasa otpornosti R60</b>					
1.	90,0	901,2	953,4	837,2	927,2
2.	85,4	892,6	922,9	829,1	914,5
3.	76,4	912,3	932,5	846,3	922,7

#### 7.4. Nanošenje završnog premaza

Na uzorke su nanoseni dva završna premaza, ovisno o kojem uzorku se radi. Rezistol emajl 2K PUR i Rezistol emajl A proizvođača HELIOS. Rezistol emajl 2K PUR je dvokomponentni poliuretanski pokrivni premaz na osnovi akrilnog veziva i alifatskog izocijanatnog otvrdnjivača. Premaz se odlikuje visokom vremenskom i UV postojanošću u uvjetima dugotrajne izloženosti. Odlikuje se dobrom kemijskom i mehaničkom otpornošću.

Premaz je dvokomponentan, stoga je prije nanošenja bilo potrebno u bazu umiješati OTVRDNJIVAČ 2K PUR u težinskom omjeru 4:1 te razrjeđivač u iznosu od 15%. Nanošenje se vršilo zračnim pištoljem sa diznom 1,4 mm pod tlakom od 0,35 MPa.



Drugi završni premaz koji je korišten u eksperimentalnom dijelu ovog rada je REZISTOL EMAJL A proizvođača HELIOS. Premaz je jednokomponentni debeloslojni pokrivni premaz na bazi modificiranog alkidnog veziva. Premaz se koristi u sustavu zaštite građevinske mehanizacije, pružnih vozila, raznih čeličnih konstrukcija i za industrijsko lakiranje metalnih površina za koje se zahtijeva dobra antikorozijska zaštita. Premaz je jednokomponentan, stoga nije potrebno umješavanje B komponente, ali ga je potrebno razrijediti RAZRJEDIVAČEM A proizvođača HELIOS i to s 15%.

Nakon nanošenja premaza uzorci su podvrgnuti mjerenju debljine suhog filma istom metodom kao i prethodna dva sloja. Dobiveni su rezultati prikazani u tablici 7.4.1.

Tablica 7.4.1. Vrijednosti debljina suhog filma nakon nanošenja završnog sloja

Uzorak	Debljina prije nanošenja	Minimalna debljina u $\mu\text{m}$	Maksimalna debljina u $\mu\text{m}$	Debljina završnog sloja u $\mu\text{m}$	Aritmetička sredina u $\mu\text{m}$
<b>Rezistol emajl 2K PUR</b>					
1.	265,2	340,8	353,5	84,2	349,4
2.	271,0	341,1	355,9	79,9	350,9
3.	261,4	324,8	347,4	76,4	337,8
<b>Rezistol emajl A</b>					
1.	927,2	998,3	1022,5	85,7	1012,9
2.	914,5	975,6	1013,7	78,3	992,8
3.	922,7	952,4	1025,2	88,4	1011,1

Sustavi koji su nanoseni ostavljeni su na sušenju 5 dana, odnosno 120 h prije nego su počela ostala ispitivanja. Radi lakšeg pregleda u tablici 7.4.4. dan je pregled svih uzoraka i sustava koji su nanoseni na njih.

Tablica 7.4.2. Pregled svih uzoraka korištenih u ispitivanjima.

SUSTAV ANTIKOROZIVNE I PROTUPOŽARNE ZAŠTITE										
Uzorak	Temelj	Vezivo	DSF	PP	Vezivo	DSF	Završni	Vezivo	DSF	Broj komada
<b>KLASA ZAŠTITE R30</b>										
1.	Heliopox 11-30	alkid – 1K	79,7	Promapaint SC4	voda – 1K	183,5	Rezistol emajl A	alkid – 1K	84,2	6
2.	Heliopox 11-30	alkid – 1K	79,7	Promapaint SC4	voda – 1K	189,4	Rezistol emajl 2K PUR	poliuretan – 2K	79,9	6
3.	Heliopox 10-10	epoksid – 2K	78,2	Promapaint SC4	voda – 1K	182,7	Rezistol emajl 2K PUR	poliuretan – 2K	76,4	6
<b>KLASA ZAŠTITE R60</b>										
4.	Heliopox 11-30	alkid – 1K	79,7	Promapaint SC4	voda – 1K	837,2	Rezistol emajl A	alkid – 1K	85,7	6
5.	Heliopox 11-30	alkid – 1K	79,7	Promapaint SC4	voda – 1K	829,1	Rezistol emajl 2K PUR	poliuretan – 2K	78,3	6
6.	Heliopox 10-10	epoksid – 2K	78,2	Promapaint SC4	voda – 1K	846,3	Rezistol emajl 2K PUR	poliuretan – 2K	88,4	6

## 7.5. Ispitivanje u slanoj komori

Slane komore dizajnirane su za ispitivanje u umjetnoj atmosferi, odnosno za procjenu korozije metala i metalnih legura, te sposobnosti zaštite različitih lakova, boja i premaza. Materijal koji se ispituje izložen je finoj maglici odgovarajuće otopine, a temperatura unutar komore održava se konstantnom. Međunarodna norma HRN EN ISO 9227 je norma koja specificira aparate, reagense i postupke koji se koriste u provođenju korozijskog ispitivanja u slanoj komori. Postoji nekoliko različitih postupaka, a ovom mjerenjem uzorci su podvrgnuti metodi: NSS (eng. neutral salt spray) test je postupak ispitivanja u kojem se 5%-tna otopina natrijevog klorida u rasponu pH od 6,5 do 7,2 raspršuje pod kontroliranim uvjetima. Dozvoljeni gubitak mase tijekom korozijskih ispitivanja za određeni test prikazan je u tablici 7.5.1.

*Tablica 7.5.1. Dozvoljeni gubitak mase cinkovih i čeličnih uzoraka tijekom korozijskih ispitivanja provedenih u slanoj komori.*

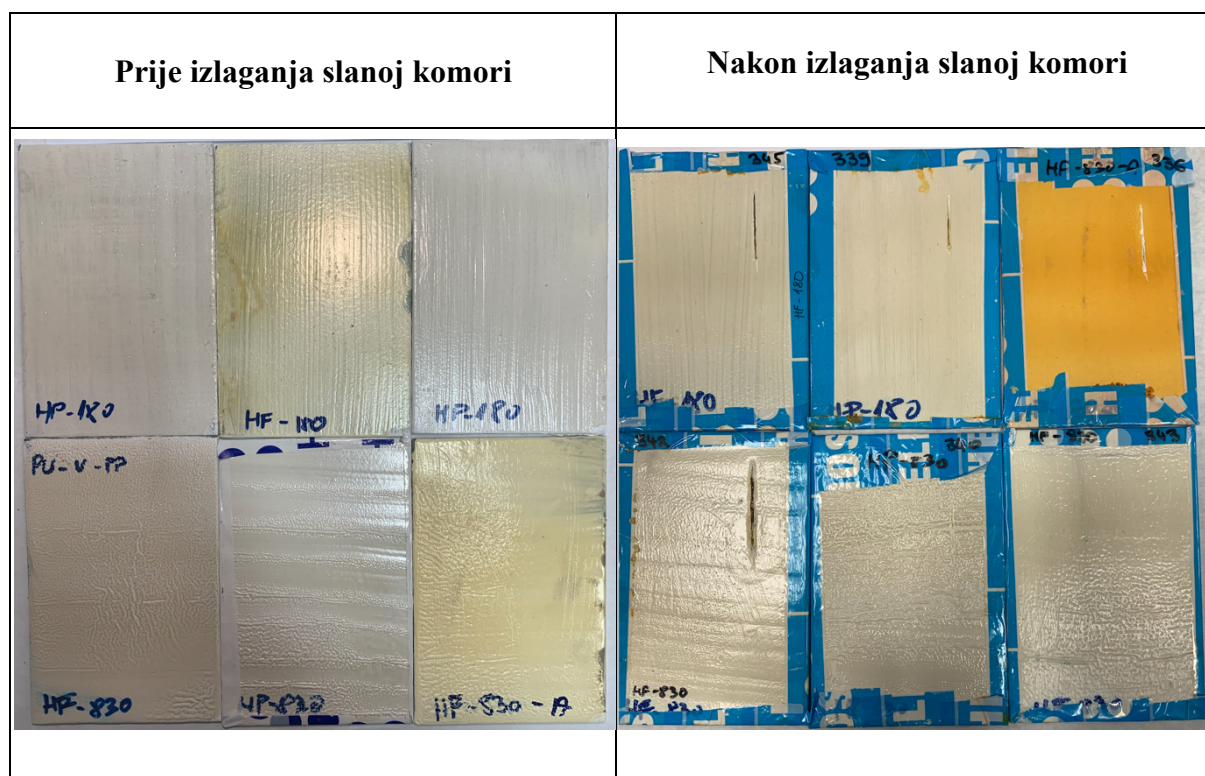
Metoda	Vremensko trajanje testa (h)	Dozvoljeni gubitak mase po površini uzoraka cinka (g/m <sup>2</sup> )	Dozvoljeni gubitak mase po površini čeličnih uzoraka (g/m <sup>2</sup> )
NSS	48	50 ± 25	70 ± 20



Slika 7.5.1. Slana komora, HELIOS Slovenija

Dva seta uzoraka je ispitano u slanoj komori. Set uzoraka odnosi se na uzorke 1., 2., 3., 4., 5., 6. Na prvom setu uzoraka je prije izlaganja komori napravljen urez da bi se simuliralo oštećenje premaza i ocijenilo širenje korozije ispred premaza. U tablici 7.5.2. su prikazani uzorci premaza prije i nakon ispitivanja u slanoj komori.

Tablica 7.5.2. Uzorci prije i nakon izlaganja slanoj komori.

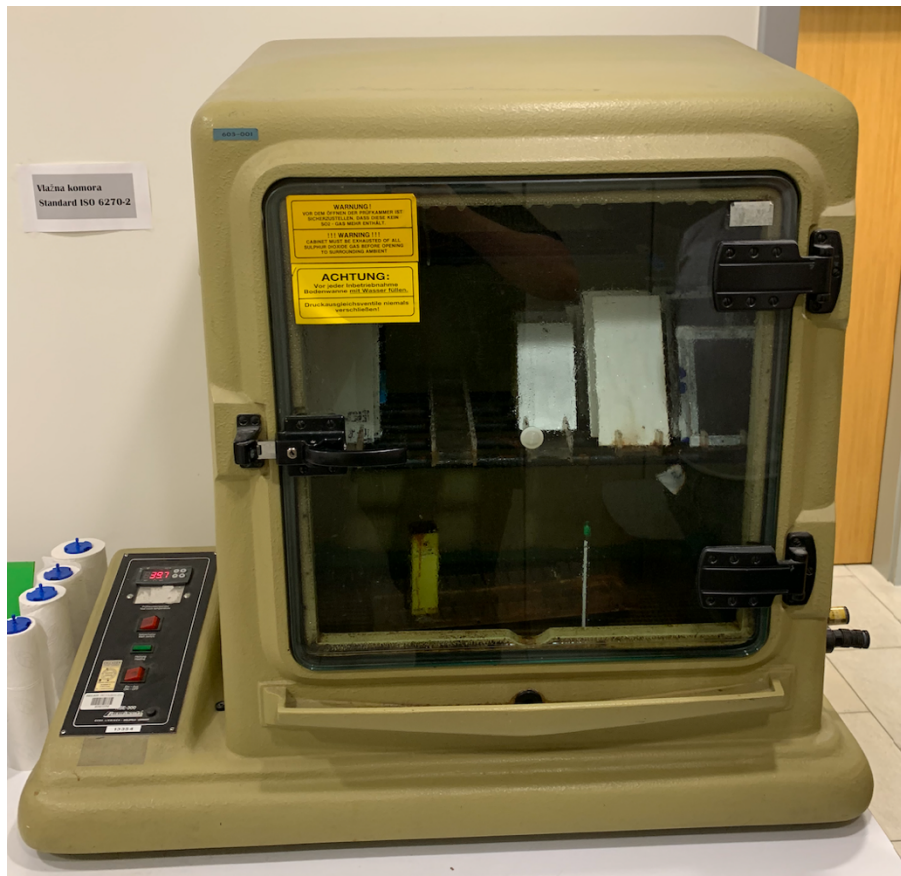


Ispitivala se otpornost premaza na C3-M korozivne uvjete prema normi ISO 12944-6. Standard nalaže da sustav, kako bi zadovoljio korozivne uvjete C3-M, mora biti izložen slanoj komori 10 dana (240 h). Pregledom uzoraka nakon izlaganja komorama može se uočiti da su uzorci malo promijenili boju i da nigdje ne postoji vidljiva korozija.

## 7.6. Ispitivanje u vlažnoj komori

Ovo ispitivanje provedeno je s ciljem prepoznavanja grešaka antikorozivne zaštite na uzorcima u vlažnoj klimatskoj sredini. Provodi se prema normi ISO 6270-2 gdje su opisani opći uvjeti koji se moraju poštivati prilikom opterećivanja uzoraka.

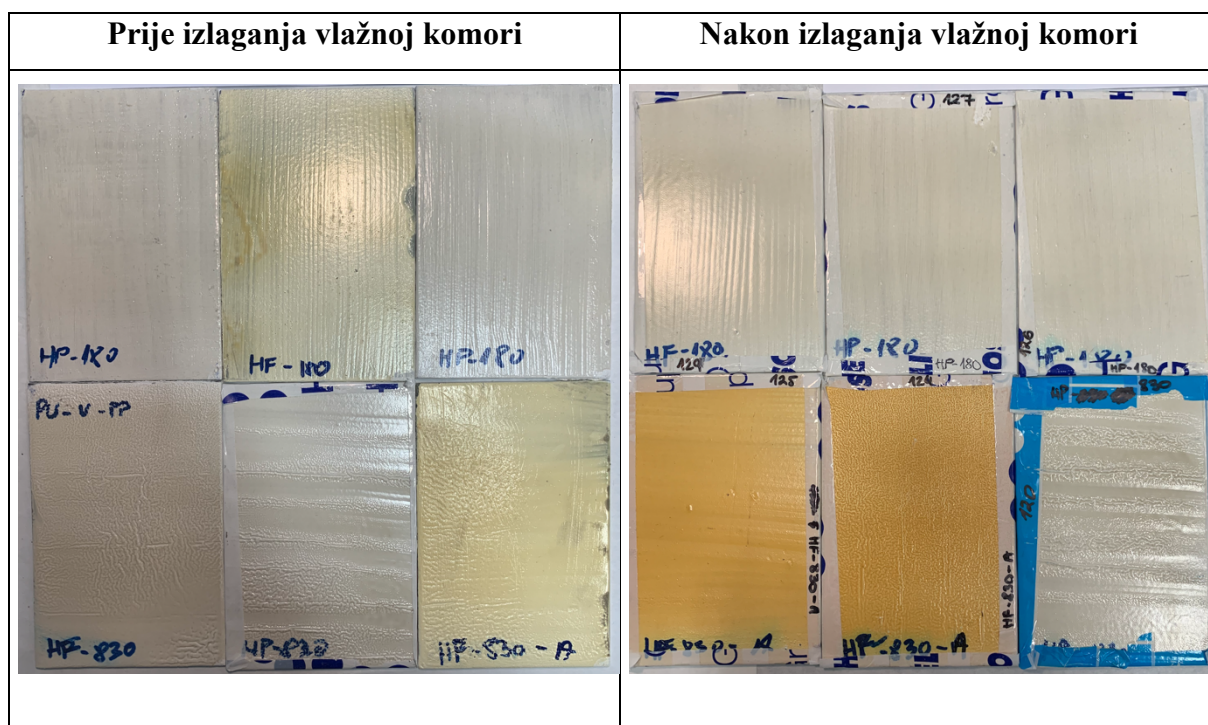
Temperatura ispitivanja je  $40 \pm 3$  C, a relativna vlažnost zraka je oko 100% s orošavanjem uzoraka. Ispitivanje je provedeno u vlažnoj komori za kategoriju korozivnosti okoliša i trajnost C3-M (7-15 godina), prema normi HRN EN ISO 12944-6:2018, uzorci su ispitivani u vlažnoj komori 120 h (5 dana).



Slika 7.6.1. Vlažna komora, HELIOS Slovenija

Dva seta uzoraka smo podvrgnuli ispitivanju slanoj komori. Set uzoraka odnosi se na uzorke 1., 2., 3., 4., 5., 6. Prvi set uzoraka će se nakon izlaganja vlažnoj komori podvrgnuti ispitivanju vatrootpornosti, dok će drugi set uzoraka biti podvrgnut ispitivanju prema normi ISO 4628 . U tablici 7.6.1. su prikazani uzorci premaza prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori.

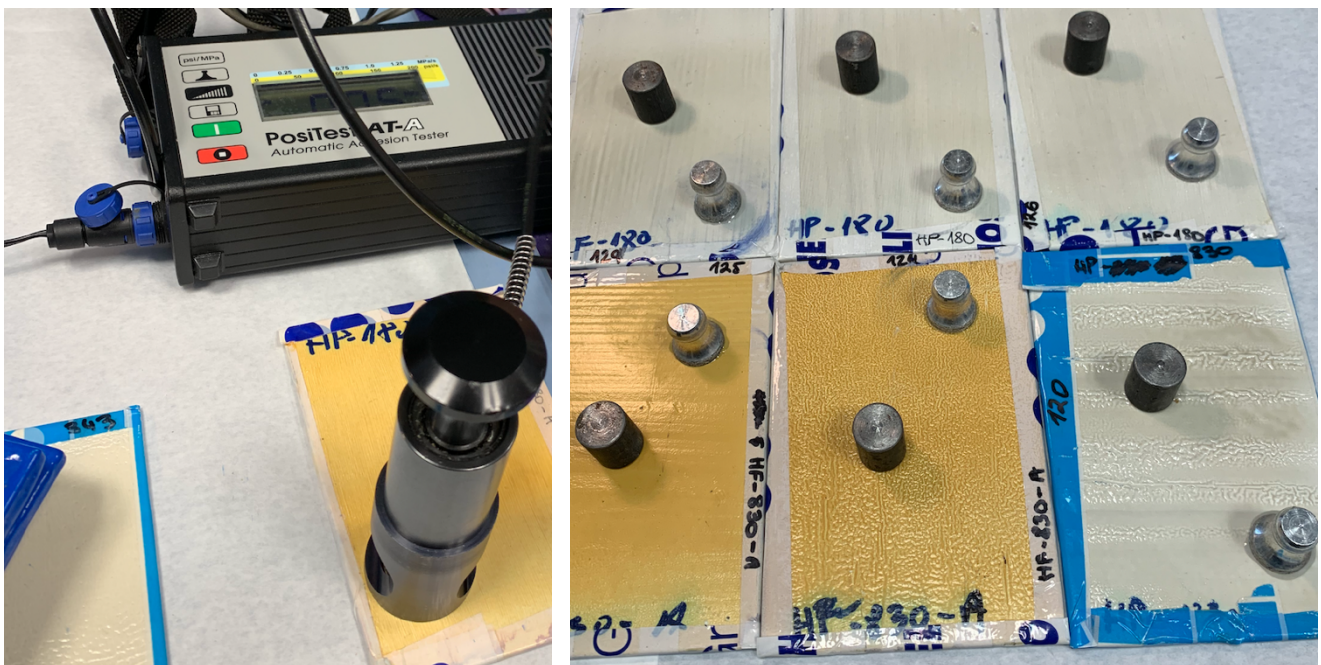
Tablica 7.6.1. Uzorci prije i nakon izlaganja vlažnoj komori.



Ispitivala se otpornost premaza na C3-M korozivne uvjete prema normi ISO 12944-6. Standard nalaže da sustav, kako bi zadovoljio korozivne uvjete C3-M , mora biti izložen vlažnoj komori 5 dana (120 h). Pregledom uzoraka nakon izlaganja komorama može se uočiti da nema bitnih razlika u uzorcima, osim promjene boje.

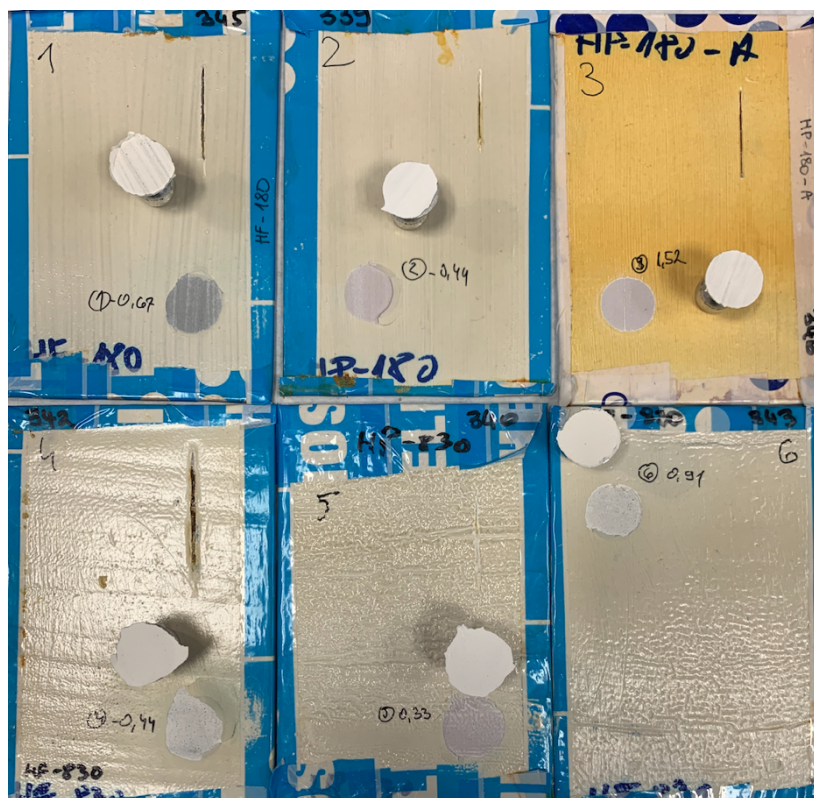
## 7.7. Ispitivanje prionjivosti

Ispitivanje prionjivosti provedeno je Pull-off metodom (vlačna metoda). Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom provodi se sukladno normi ISO 4624, lijepljenjem čunjića na premazanu podlogu. Nakon što su nalijepljeni, 30 minuta je potrebno ljepilo da se stvrdne i osuši. Kroz sredinu čunjića, ljepilo koje se još nije stvrdnulo posebnim alatom se ukloni kako se vrh mjernog uređaja ne bi zalijepio na površinu uzorka. Nakon što se ljepilo osušilo u potpunosti, mjerni uređaj se pričvršćuje na nalijepljene čunjiće, odnosno ispitne pločice. Postupnim povećanjem sile, čunjići se odvajaju od površine uzorka. Mjeri se sila (naprezanje) odvajanja u MPa. Mjerenje je prikazano na slici 7.7.1.

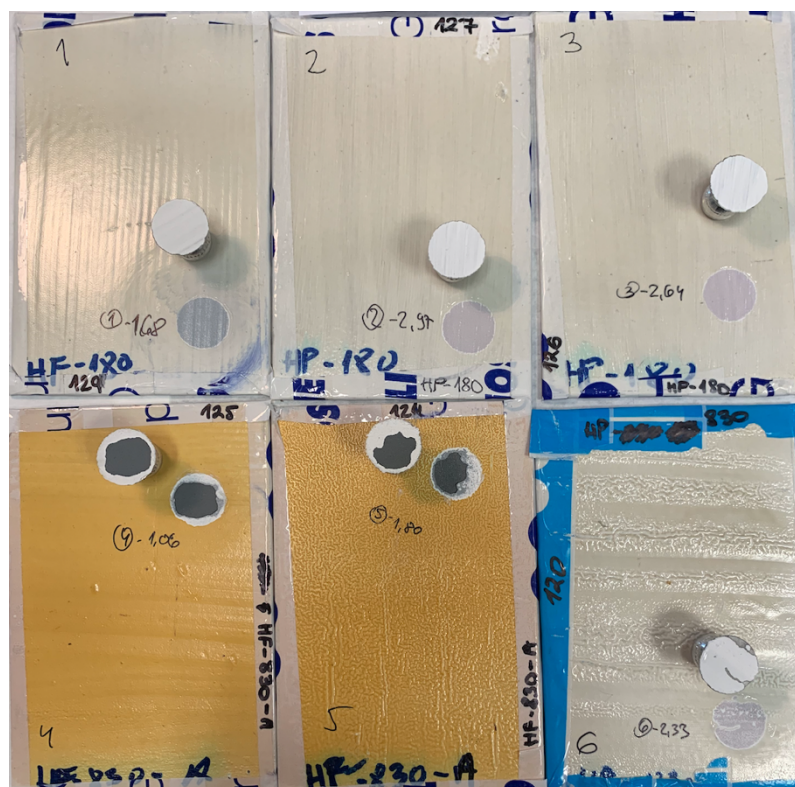


Slika 7.7.1. Pull off metoda

Na slikama 7.7.2, 7.7.3 i 7.7.4 mogu se vidjeti rezultati mjerenja pull-off metodom kao i slojevi koji su ispitani metodom.

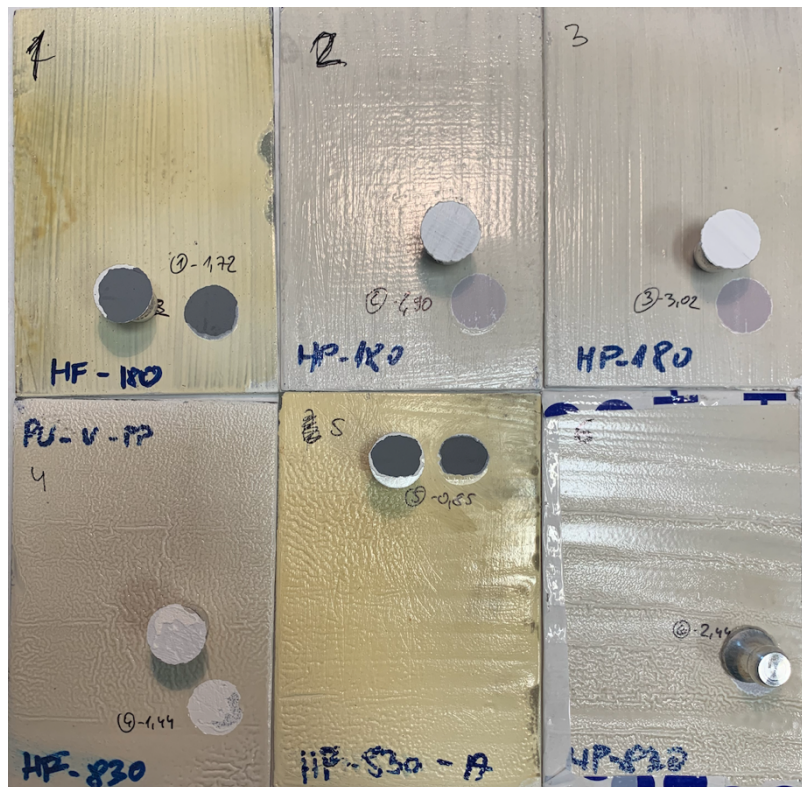


Slika 7.7.2. Rezultati mjerenja uzoraka Pull-off metodom nakon slane komore



Slika 7.7.3. Rezultati mjerenja uzoraka Pull-off metodom nakon vlažne komore





Slika 7.7.4. Rezultati mjerenja uzoraka Pull-off metodom - etaloni

U tablici 7.7.1. u nastavku dani su rezultati mjerenja prionjivosti premaza za osnovni materijal Pull – off metodom.

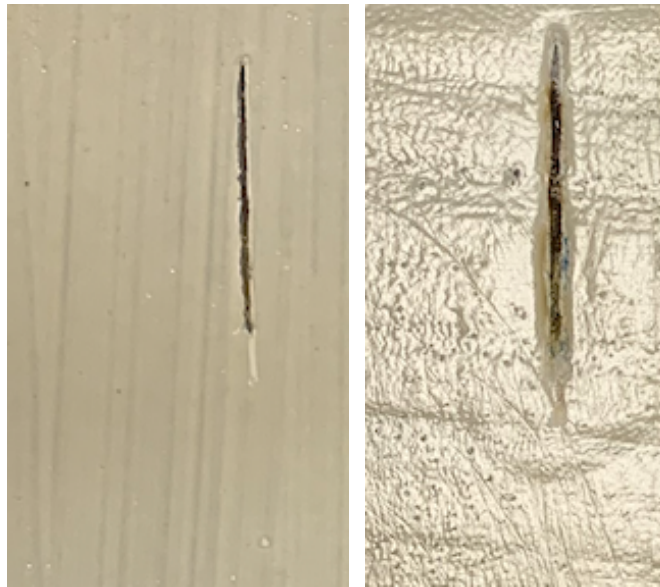
Tablica 7.7.1. Rezultati ispitivanja prionjivosti

	Slana komora	Izmjerena vrijednost (MPa)	Vlažna komora	Izmjerena vrijednost (MPa)	Etaloni	Izmjerena vrijednost (MPa)
<b>KLASA R30</b>						
1		0,67		1,68		1,72
2		0,44		2,97		2,90
3		1,52		2,64		3,02
<b>KLASA R60</b>						
4		0,44		1,06		1,44
5		0,33		1,80		0,85
6		0,91		2,33		2,44

## 7.8. Vizualna ocjena propadanja prevlaka prema normi ISO 4628

### 7.8.1. Ispitivanje korozije oko ureza

Prema normi ISO 4628-8 provedeno je ispitivanje degradacije premaza, odnosno stupnja korozije oko ureza. Na uzorcima koji su ispitivani u slanoj komori napravio se urez prema normi ISO 9227. Na slici 7.8.1.1. može se vidjeti uzorak s urezom nakon ispitivanja u slanoj komori.



Slika 7.8.1.1. Urez na uzorku prije (lijevo ) i nakon (desno) izlaganja slanoj komori

Vidljivo je da je došlo do širenja korozije oko ureza u slanoj komori, no nije nastalo veće oštećenje koje ukazuje na pogoršanje svojstava premaza. Vizualna ocjena 1 (eng. very slightly).

### 7.8.2. Ispitivanje pucanja premaza

Prema normi ISO 4628-4 provedeno je ispitivanje, odnosno vizualna procjena stupnja raspucavanja premaza nakon izlaganja komorama. Cilj ispitivanja je provjeriti jesu li se na premazu nakon izlaganju komorama dogodile pukotine koje će u daljnjoj primjeni premaza u eksploataciji dovesti do smanjenja otpornosti premaza. Na slici 7.8.2.1. može se vidjeti uzorak.



Slika 7.8.2.1. Uzorak prije i nakon izlaganja slanoj komori

Vidljivo je kako nije nastalo pucanje premaza na uzorcima u uvjetima slane komore.

### 7.8.3. Ocjena stupnja mjehuranja

Prema normi ISO 4628-2 provedena je ocjena stupnja mjehuranja površine. Na slici 7.8.3.1. može se vidjeti ispitivanje mjehuranja površine uzorka.



Slika 7.8.3.1. Ispitivanje mjehuranja površine premaza prije i slane komore

Uzorci nakon izlaganja komorama nemaju vidljive lokacije mjehuranja.

#### 7.8.4. Rezultati mjerenja

U tablici 7.8.4.1. dani su rezultati vizualnih ocjena prema normama ISO 4628-4, ISO 4628-2 i ISO 4628-3, ISO 4628-8

Tablica 7.8.4.1. Rezultati ispitivanja u slanoj komori nakon 240h

Broj uzorka	ISO 4628-4	ISO 4628-2	ISO 4628-8
	Pucanje	Mjehuranje	Hrđanje oko ureza
<b>KLASA R30</b>			
1.	0(S0)	0(S0)	Ocjena 1
2.	0(S0)	0(S0)	Ocjena 1
3.	0(S0)	0(S0)	Ocjena 1
<b>KLASA R60</b>			
4.	0(S0)	0(S0)	Ocjena 1
5.	0(S0)	0(S0)	Ocjena 1
6.	0(S0)	0(S0)	Ocjena 1

Tablica 7.8.4.1. Rezultati ispitivanja u vlažnoj komori nakon 120h

Broj uzorka	ISO 4628-4	ISO 4628-2	ISO 4628-3
	Pucanje	Mjehuranje	Hrđanje
<b>KLASA R30</b>			
1.	0(S0)	0(S0)	Ri (0)
2.	0(S0)	0(S0)	Ri (0)
3.	0(S0)	0(S0)	Ri (0)
<b>KLASA R60</b>			
4.	0(S0)	0(S0)	Ri (0)
5.	0(S0)	0(S0)	Ri (0)
6.	0(S0)	0(S0)	Ri (0)

## 7.9. Ispitivanje protupožarnosti

Ispitivanje protupožarnosti provodi se radi procjene svojstava premaza prije i poslije izlaganja uzoraka slanoj i vlažnoj komori. Cilj ispitivanja je bio utvrditi hoće li izlaganje u komorama negativno utjecati na protupožarna svojstva premaza. Uzorci će biti podvrgnuti otvorenom plamenu, a mjeriti će se temperatura ispitne pločice svakih 5 minuta do trenutka kada vremenski period izlaganja otvorenom plamenu ne zadovolji uvijete klase otpornosti na protupožarnost. Nakon izlaganja uzoraka otvorenom plamenu mjeri se debljina ekspaniranja premaza te se sukladno tome ocjenjuje. Na slici 7.9.1. vidljiv je postupak ispitivanja.



Slika 7.9.1. Izlaganje uzoraka na otvoreni plamen



Slika 7.9.2. Mjerenje prirasta temperature pozadine uzorka pirometrom

U tablici 7.9.1. i 7.9.2. dan je prikaz mjerenja prirasta temperature na pozadini uzoraka klasa otpornosti R30 i R60.

Tablica 7.9.1. Porast temperature uzoraka klase otpornosti R30

Proteklo vrijeme nakon izlaganja plamenu u min	Uzorak	Temp. uzorka u °C, slana komora	Temp. uzorka u °C, vlažna komora	Temp. uzorka u °C, etaloni
5	1.	311,5	157,2	140,0
	2.	289,7	102,4	96,1
	3.	293,4	121,9	118,0
10	1.	478,9	199,4	190,4
	2.	499,1	151,0	133,6
	3.	457,2	179,0	140,5
15	1.	-	277,2	245,8
	2.	-	188,3	155,0
	3.	-	221,4	171,0
20	1.	-	297,8	276,6
	2.	-	215,7	186,2
	3.	-	301,0	197,0
25	1.	-	314,5	299,6
	2.	-	288,3	211,2
	3.	-	358,9	249,5
30	1.	-	377,1	349,4
	2.	-	344,1	287,3
	3.	-	401,0	311,2

Tablica 7.9.2. Porast temperature uzoraka klase otpornosti R60

Protoklo vrijeme nakon izlaganja plamenu u min	Uzorak	Temp. uzorka u °C, slana komora	Temp. uzorka u °C, vlažna komora	Temp. uzorka u °C, etaloni
5	4.	297,3	124,2	90,1
	5.	301,5	92,4	76,1
	6.	357,8	102,3	98,0
10	4.	477,1	166,9	120,4
	5.	323,0	151,0	103,6
	6.	412,1	179,0	124,5
15	4.	-	187,3	145,8
	5.	388,0	161,9	125,0
	6.	-	201,1	131,0
20	4.	-	201,3	173,9
	5.	413,8	187,2	186,2
	6.	-	234,1	173,4
25	4.	-	271,5	229,6
	5.	499,0	213,3	199,2
	6.	-	287,4	233,5
30	4.	-	301,3	259,1
	5.	-	257,2	243,9
	6.	-	312,7	245,2
35	4.	-	333,9	291,3
	5.	-	287,1	277,0
	6.	-	342,8	298,7
40	4.	-	378,0	311,4
	5.	-	309,2	301,1
	6.	-	388,4	343,5
45	4.	-	399,9	367,8
	5.	-	371,4	319,2
	6.	-	421,6	358,7
50	4.	-	455,3	386,3
	5.	-	403,1	342,2
	6.	-	488,4	378,8
55	4.	-	499,7	401,4
	5.	-	441,7	399,0
	6.	-	-	412,3
60	4.	-	-	432,4
	5.	-	469,4	412,0
	6.	-	-	478,3

U tablicama 7.9.1. i 7.9.2. su istaknute zelenom bojom vrijednosti temperature kada je započeta reakcija vatrootpornog premaza odnosno njegova ekspanzija i crvenom bojom vrijednosti temperature kada je reakcija ekspanziranja završila. Slika 7.9.2. prikazuje uzorke nakon ispitivanja na otvorenom plamenu.

Nakon mjerenja temperatura pristupa se mjerenju debljine ekspanzije premaza. Vrijednosti debljine su dane u tablici 7.9.3.

*Tablica 7.9.3. Debljine ekspanzije premaza nakon izlaganja plamenu*

Slana komora	Izmjerena vrijednost (mm)	Vlažna komora	Izmjerena vrijednost (mm)	Etaloni	Izmjerena vrijednost (mm)
<b>KLASA R30</b>					
1.	<b>0,38</b>	1.	<b>1,73</b>	1.	<b>3,63</b>
2.	<b>0,51</b>	2.	<b>1,88</b>	2.	<b>4,18</b>
3.	<b>0,43</b>	3.	<b>2,01</b>	3.	<b>3,81</b>
<b>KLASA R60</b>					
4.	<b>5,12</b>	4.	<b>7,09</b>	4.	<b>5,99</b>
5.	<b>4,32</b>	5.	<b>6,42</b>	5.	<b>6,13</b>
6.	<b>6,84</b>	6.	<b>8,07</b>	6.	<b>8,62</b>

Debljine su mjerene 5 puta na svakom uzorku, a u tablici 7.9.3. prikazane su vrijednosti aritmetičkih sredina mjerenja. Iz rezultata mjerenja vidljivo je da je i slana i vlažna komora u manjoj mjeri degradirala proces ekspanzije vatrootpornog premaza. Slika 7.9.3. prikazuje proces ispitivanja uzorka broj 1.





Slika 7.9.3. Gorenje uzorka broj 1.

Slike 7.9.4. i 7.9.5. prikazuju izgled uzorka nakon ispitivanja na vatrootpornost te debljinu ekspanzije vatrootpornog premaza.



Slika 7.9.4. Izgled uzoraka nakon ispitivanja izlaganja otvorenom plamenu



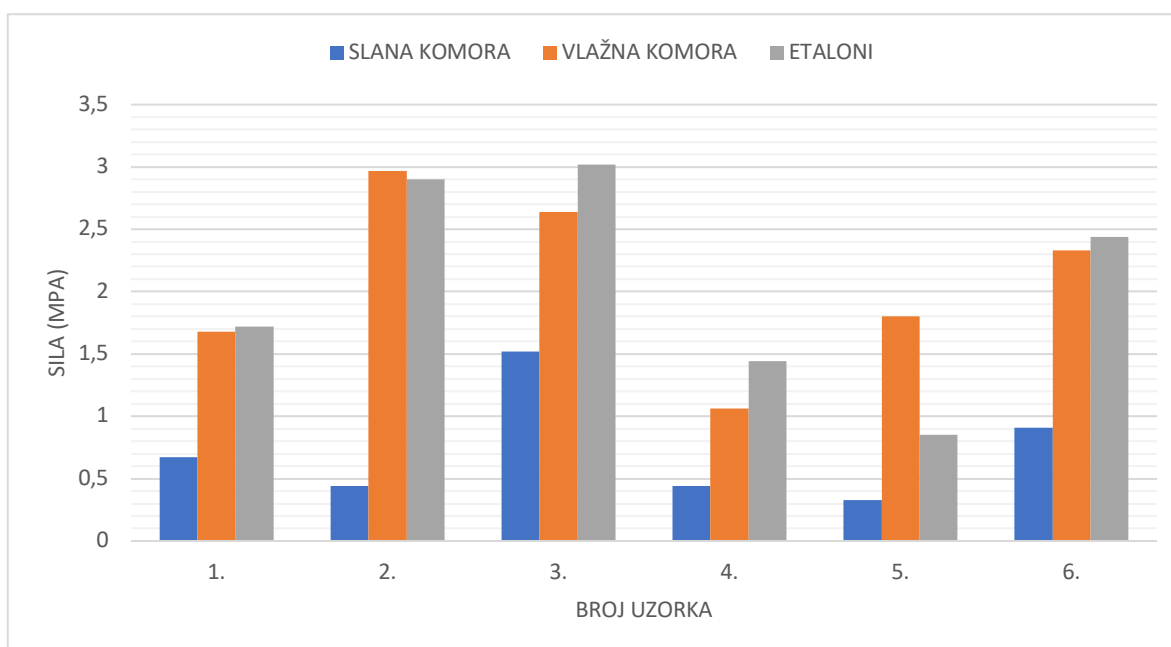
Slika 7.9.5. Ekspanzija vatrootpornog premaza uzorka 5.

## 8. Analiza rezultata

U ovom poglavlju eksperimentalnog dijela rada provedena je analiza rezultata provedenih ispitivanja. Korišteni su grafički prikazi podataka, radi preglednosti i bolje mogućnosti analize.

### 8.1. Ispitivanje prionjivosti premaza

Prionjivost premaza ispitana je Pull-off metodom te su rezultati dani u grafičkom prikazu na slici 8.1.1.

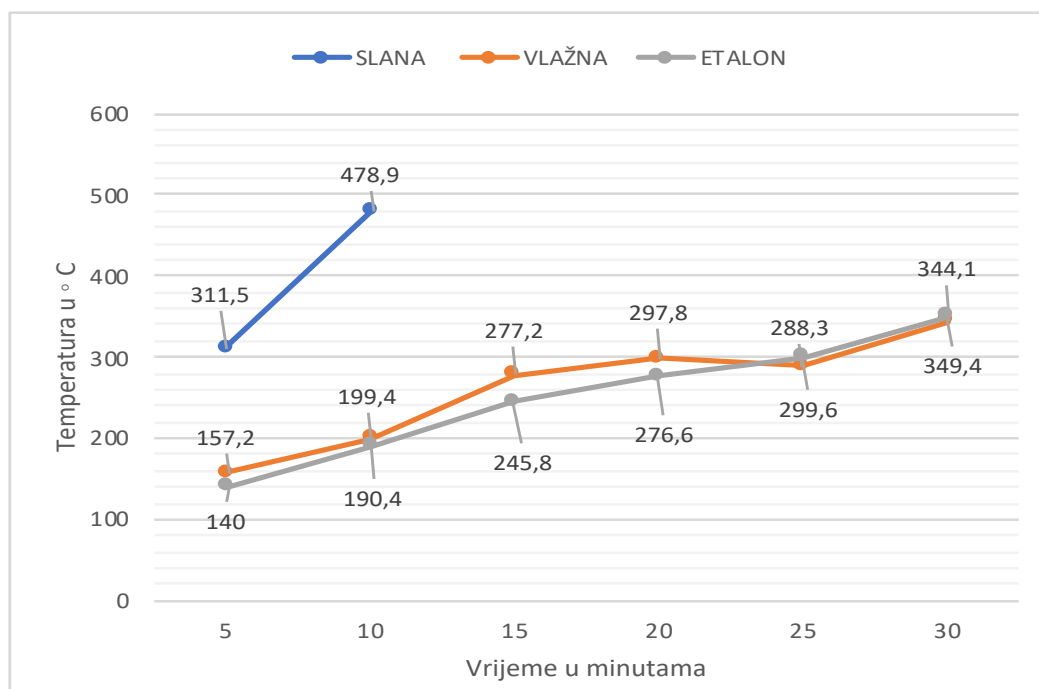


Slika 8.1.1. Rezultati mjerenja prionjivosti premaza

Iz grafa 8.1.1. vidljivo je da su svojstva prionjivosti premaza oslabljena nakon izlaganja komorama. Dok nakon vlažne komore ti rezultati nisu osjetno manji, slana komora je znatno oslabila prionjivost premaza i samu adheziju sva tri sloja premaza.

## 8.2. Ispitivanje na vatrootpornost

Radi lakšeg razumijevanja, rezultati mjerenja prirasta temperature dani su grafičkim prikazom. Usporedba prirasta temperature ispitivanjem na otvoreni plamen klase R30 uzorka 1 dana je slikom 8.2.1.

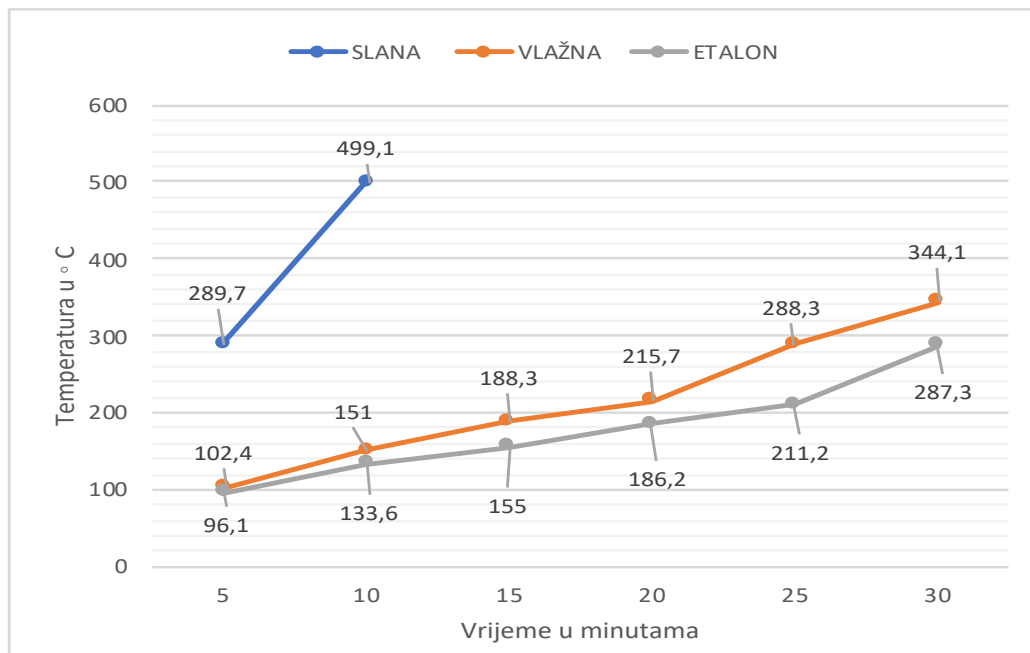


Slika 8.2.1. Usporedba prirasta temperature uzorka 1 klase R30

Iz slike 8.2.1. vidljivo je da je prirast temperature kod etalona i uzorka nakon ispitivanja u vlažnoj komori u trajanju od 120 h odnosno 5 dana slična, no slana komora je potpuno degradirala svojstva vatrootpornog premaza koji je dosegao kritičnu temperaturu od 500 °C nakon malo više od 10 minuta izloženosti otvorenom plamenu.

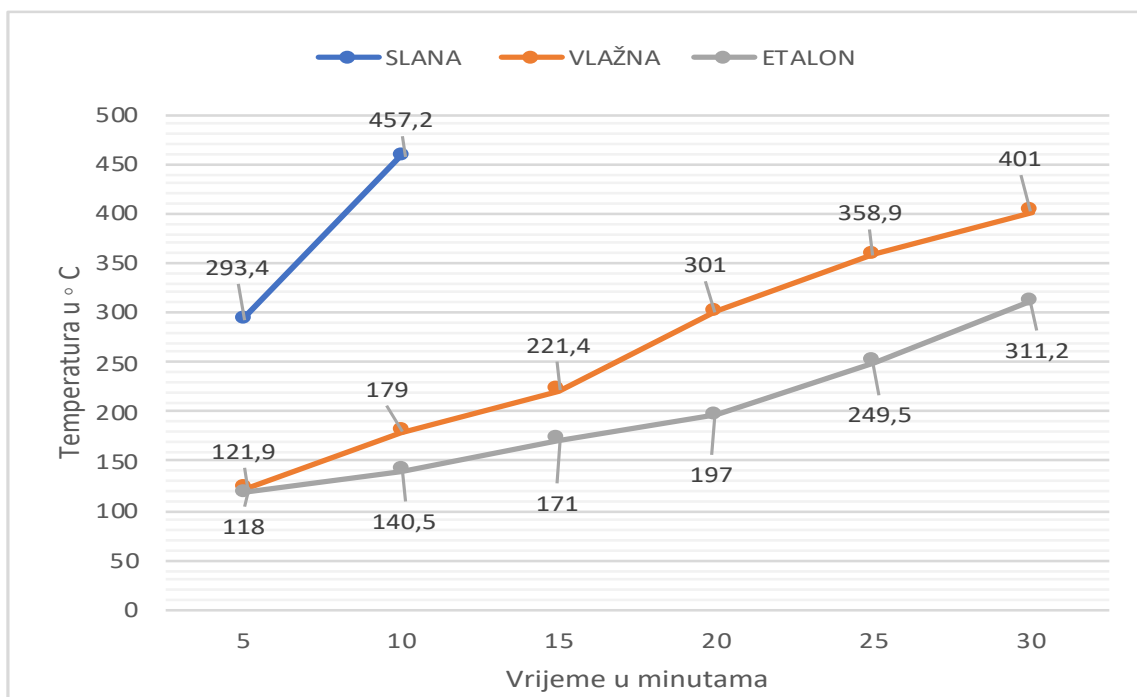
Sustav koji je korišten na uzorcima broj 1 klase R30 je alkidni temeljni premaz u debljini od 80 μm DSF sa intumescentnim slojem u debljini od 180 μm DSF i završni alkidni premaz u debljini od 80 μm DSF.

Slika 8.2.2. prikazuje usporedbu prirasta temperature uzorka 2 klase R30.



Slika 8.2.2. Usporedba prirasta temperature uzoraka 2 klase R30

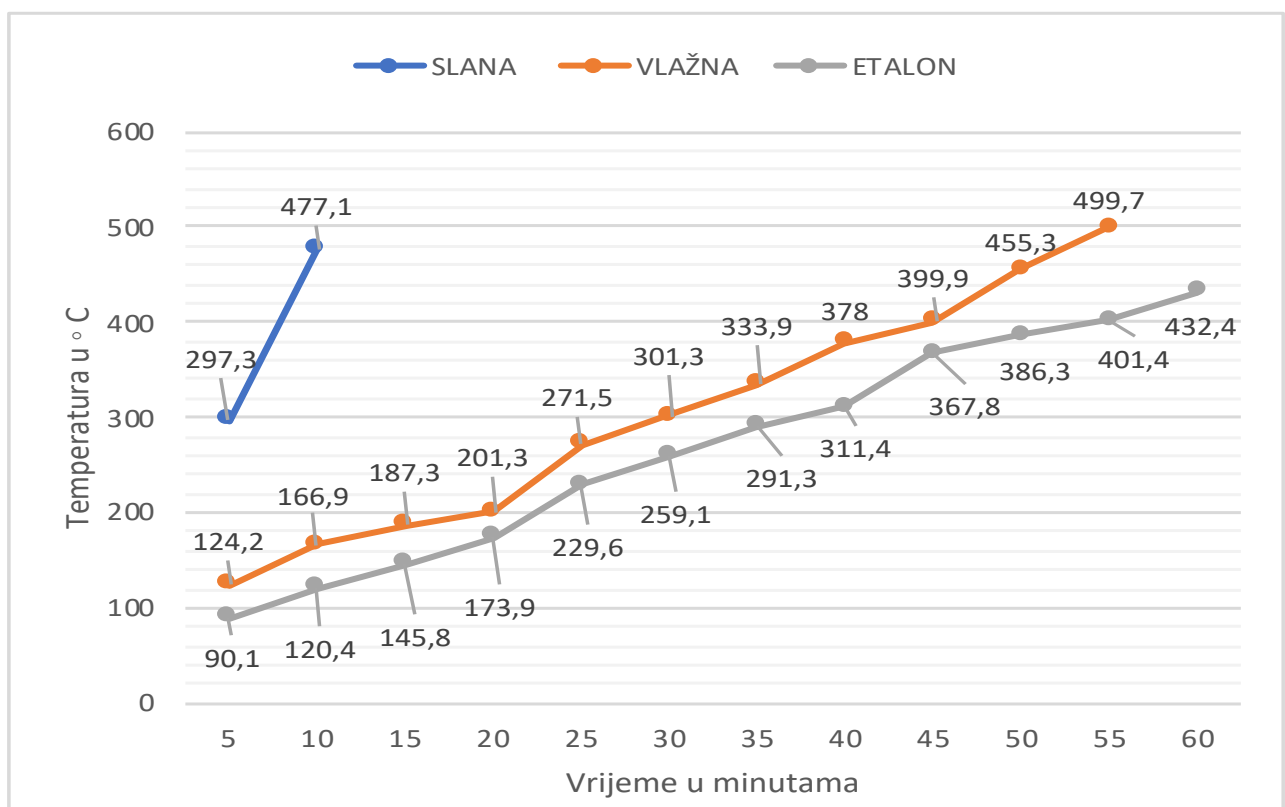
Iz slike 8.2.2. vidljivo je slično ponašanje sustava R30 na otvoreni plamen kao i kod uzorka broj 1. Sustav koji je korišten na uzorcima broj 2 klase R30 je alkidni temeljni premaz u debljini od 80  $\mu\text{m}$  DSF sa intumescentnim slojem u debljini od 180  $\mu\text{m}$  DSF i završni poliuretanski premaz u debljini od 80  $\mu\text{m}$  DSF. Slika 8.2.3. prikazuje usporedbu prirasta temperature uzoraka 3 klase R30.



Slika 8.2.3. Usporedba prirasta temperature uzoraka 3 klase R30

Iz slike 8.2.3. vidljivo je slično ponašanje sustava R30 na otvoreni plamen kao i kod uzorka broj 1 i broj 2 s time da se pri vremenu od 30 minuta ispitivanja primjećuje da sustav koji je izložen vlažnoj komori također gubi svoja svojstva zaštite od plamena.

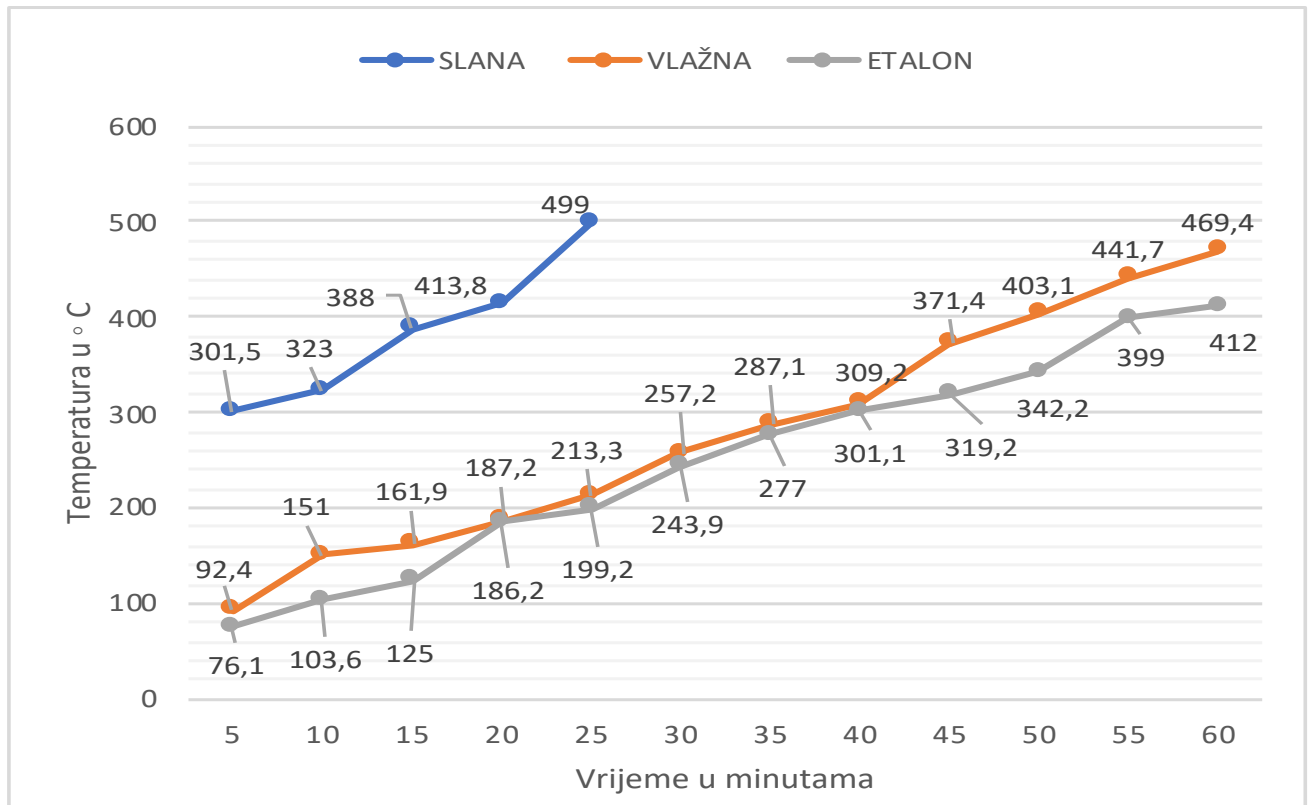
Sustav koji je korišten na uzorcima broj 2 klase R30 je epoksidni dvokomponentni temeljni premaz u debljini od 80  $\mu\text{m}$  DSF sa intumescentnim slojem u debljini od 180  $\mu\text{m}$  DSF i završni poliuretanski premaz u debljini od 80  $\mu\text{m}$  DSF. Slika 8.2.4. prikazuje usporedbu prirasta temperature uzoraka 4 klase R60.



Slika 8.2.4. Usporedba prirasta temperature uzoraka 4 klase R60

Iz slike 8.2.4. vidljivo je da je uzorak 4. degradirao u slanoj, a u manjoj mjeri, u vlažnoj komori. S obzirom na prirast temperature etalona, kritična temperatura od 500 °C uzorka broj 4. nakon izlaganja slanoj komori postignuta je nakon samo 10 minuta izlaganju otvorenom plamenu, dok

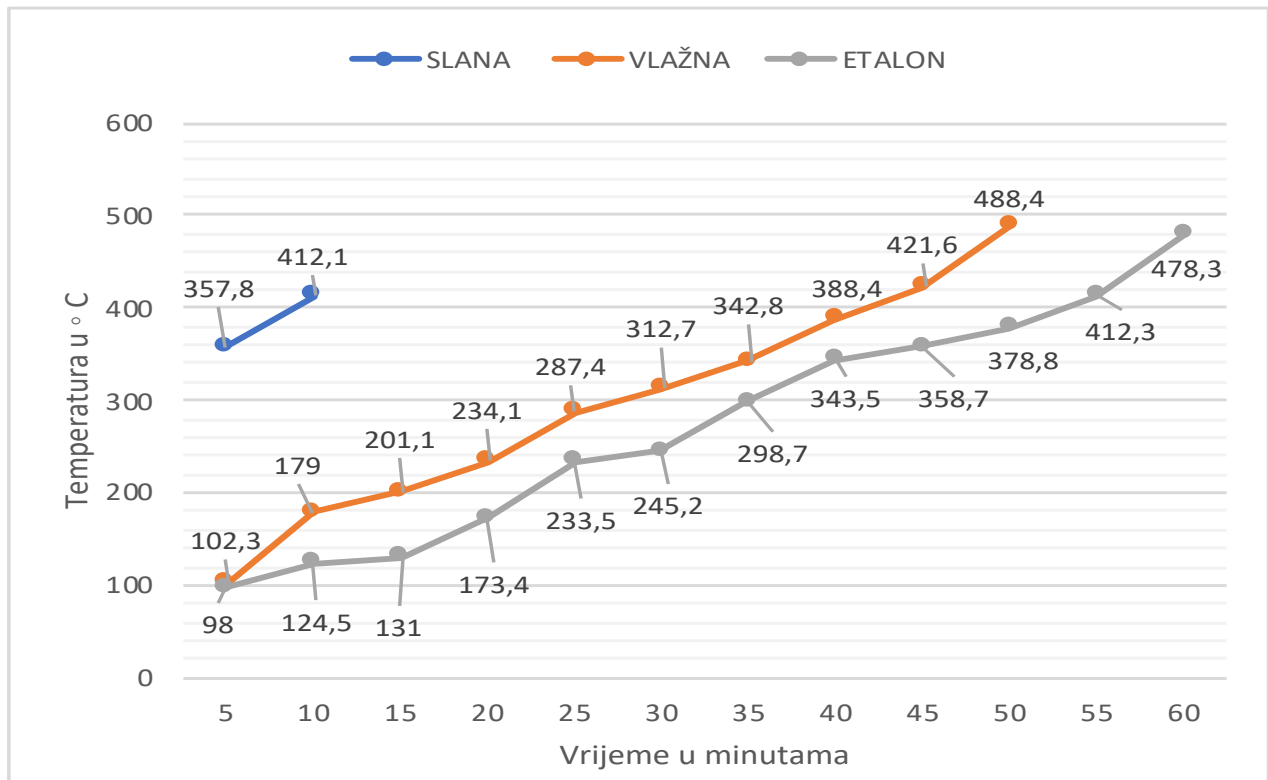
je uzorak koji je izložen vlažnoj komori također postigao kritičnu temperaturu nešto prije kraja mjerenja. Slika 8.2.5. prikazuje usporedbu prirasta temperature uzoraka 5 klase R60.



Slika 8.2.5. Usporedba prirasta temperature uzoraka 5 klase R60

Iz slike 8.2.5. vidljivo je da je uzorak 5 degradirao u slanoj komori, no u manjoj mjeri od uzorka 4. klase R60. S obzirom na prirast temperature etalona, kritična temperatura od 500 °C uzorka broj 5. nakon izlaganja slanoj komori postignuta je nakon samo 30 minuta izlaganju otvorenom plamenu, dok je uzorak koji je izložen vlažnoj komori izdržao test do završetka, no vrlo blizu kritične temperature.

Slika 8.2.6. prikazuje usporedbu prirasta temperature uzoraka 6 klase R60.



Slika 8.2.6. Usporedba prirasta temperature uzoraka 6 klase R60

Iz slike 8.2.6. vidljivo je da je uzorak 6. degradirao u slanoj, a u manjoj mjeri, u vlažnoj komori. S obzirom na prirast temperature etalona, kritična temperatura od 500 °C uzorka broj 6. nakon izlaganja slanoj komori postignuta je nakon samo 10 minuta izlaganju otvorenom plamenu, dok je uzorak koji je izložen vlažnoj komori također postigao kritičnu temperaturu nešto prije kraja mjerenja.



## 9. ZAKLJUČAK

U novije doba sve više pozornosti pri konstruiranju novih građevina pridaje se zaštiti konstrukcija na protupožarnost. Nažalost, više nesretnih događaja u povijesti, a jedan od najpoznatijih je rušenje nebodera 11.9.2001. u New Yorku naveli su industriju građevine da smisli rješenje za zaštitu čeličnih konstrukcija od požara. Naime, čelik kao građevni materijal iznimno je popularan zbog svoje mehaničke izdržljivosti i široke mogućnosti primjene, no dolazi sa dvije stavke na koje treba posebno obratiti pozornost kod konstruiranja. To su antikorozivna zaštita i mehanička otpornost na vanjske utjecaje. Pod vanjske utjecaje na konstrukciju ubraja se i požar koji utječe na mehaničku otpornost čelika. Poznato je da se ugljični konstrukcijski čelik tali na temperaturi od 1450 °C, no on gubi svoja mehanička svojstva već pri 520 °C te ga je zato potrebno zaštititi na protupožarnost. Kombinacija sustava premaza za antikorozivnu zaštitu i protupožarnu zaštitu svim je projektantima i investitorima u interesu zbog jednostavnosti primjene i cijene.

U eksperimentalnom dijelu diplomskog rada provedena su ispitivanja na tri različita sustava premaza klase otpornosti požaru R30 i klase R60. Sustavi zaštite klase R30 nakon izlaganja slanoj komori nisu zadovoljili test protupožarnosti koji je najbitniji faktor u sustavu. Debljine ekspanzije nakon izlaganja otvorenom plamenu nisu dovoljne za potpunu zaštitu na 30 minuta od izbijanja požara, također sustav zaštite R60 pokazuje iste karakteristike nakon slane komore. Oba sustava nakon izlaganja slanoj komori, a neki i vlažnoj komori pokazuju manju otpornost prodiranja topline do osnovnog materijala. Ispitivanja korozije oko ureza, ispitivanje mjehuravosti i raspucavanje zadovoljavaju standarde prema najvišoj ocjeni što ukazuje na dobra antikorozivna svojstva sustava premaza. Ispitivanje prionjivosti sustava premaza uzoraka ukazuje na problem svih uzoraka nakon izlaganja komorama. Sustav s vatrootpornim srednjim slojem ne pokazuje dobra adhezivna svojstva premaza.

Konačno, zadovoljavanje kriterija protupožarnosti u sustavu s antikorozivnom zaštitom jako je teško postići na uvjete okoliša C3-M i više, no sustav koji pokazuje minimalnu otpornost ovakvim uvjetima okoliša bio bi sustav sa epoksidnim temeljnim premazom, intumescentnim slojem i poliuretanskim završnim slojem.

## 10. LITERATURA

- 1 - [https://bib.irb.hr/datoteka/843434.KEMIJSKA\\_POSTOJANOST.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/843434.KEMIJSKA_POSTOJANOST.pdf) pristupano 9.5.2019.
- 2 - <http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf> pristupano 9.5.2019  
pristupano 9.5.2019.
- 3 - [https://www.coatingsworld.com/issues/2016-07-01/view\\_market-research/world-paint-amp-coatings-demand-to-reach-54-7-million](https://www.coatingsworld.com/issues/2016-07-01/view_market-research/world-paint-amp-coatings-demand-to-reach-54-7-million) pristupano 9.5.2019.
- 4 - <https://www.pcimag.com/articles/104924-global-top-10-and-pci-25-top-paint-and-coatings-companies> pristupano 9.5.2019.
- 5 - Nada Rački: Boje i lakovi, jučer, danas, sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004
- 6 - Ivan Juraga, Vesna Alar, Ivan Stojanović: Korozija i zaštita premazima, FSB, Zagreb, 2014
- 7 - <http://www.propisi.hr/print.php?id=6879> pristupano 16.5.2019
- 8 - [http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB\\_Veziva%202016.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_Veziva%202016.pdf) pristupano 11.6.2019
- 9 - The protective Coating User's Handbook – 2004, Louis D. Vincent
- 10 –Seminar Protupožarni premazi, Hrvatsko društvo za zaštitu materijala – Zagreb  
16.10.2018
- 11 – Promat – Protupožarna zaštita nosivih čeličnih konstrukcija, brošura
- 12 - ETAG N 018 – Part 2 – Reactive coatings for fire protection of steel elements – EOTA
- 13 – ISO 944-5 2018- Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 5

## 11. PRILOZI

Prilog 1. – Tehnička specifikacija temeljnog premaza HELIOFAST 11-30

Prilog 2. – Tehnička specifikacija temeljnog premaza HELIOPOX 10-10

Prilog 2. – Tehnička specifikacija vatrootpornog premaza PROMAPAINTE SC4

Prilog 3. – Tehnička specifikacija završnog premaza REZISTOL EMAJL 2K PUR

Prilog 4. – Tehnička specifikacija završnog premaza REZISTOL emajl A

Prilog 5. – CD-R disk