

# Zaštita dimovoda premazima

---

Šincek, Zlatko

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:368792>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-18**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Zlatko Šincek**

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

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

Student:

Zlatko Šincek

Zagreb, 2020.

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

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Ivanu Stojanoviću na strpljenju, savjetima i pomoći pri izradi ovog završnog rada.

Veliko hvala mojim roditeljima i obitelji te djevojci i prijateljima koji su uvijek vjerovali u mene i koji su mi uvijek bili podrška tijekom studiranja.

Zlatko Šincek



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Zlatko Šincek** Mat. br.: 0035209357

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **ZAŠTITA DIMOVODA PREMAZIMA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **CHIMNEY PROTECTION WITH COATINGS**

Opis zadatka:

Zaštita premazima spada u tehnologiju zaštite od korozije koja ima vrlo široku primjenu i koja se i danas intenzivno razvija.

U radu je potrebno sažeto obraditi osnovne metode zaštite od korozije i njihovo područje primjene. Opisati metodu zaštite od korozije primjenom premaza. Obraditi vrste premaza s obzirom na vrstu veziva i pigmenta. Detaljnije obraditi visokotemperaturne premaze i njihovu primjenu za zaštitu dimovoda. Navesti zahtjeve koje takvi premazi moraju zadovoljiti.

U eksperimentalnom dijelu zadatka provesti korozijska ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori. Ispitati prirodnost i tvrdoću zaštitnog premaza na dimovodima, pri sobnoj i povišenoj temperaturi. Analizirati rezultate te dati zaključak.

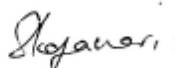
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

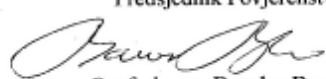
Zadatak zadan:  
28. studenog 2019.

Datum predaje rada:  
1. rok: 21. veljače 2020.  
2. rok (izvanredni): 1. srpnja 2020.  
3. rok: 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 24.2. – 28.2.2020.  
2. rok (izvanredni): 3.7.2020.  
3. rok: 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zadao:

  
Doc. dr. sc. Ivan Stojanović

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
2. KOROZIJA.....	2
3. ZAŠTITA MATERIJALA OD KOROZIJE.....	6
4. ZAŠTITA PREMAZIMA.....	8
4.1. Podjela prevlaka .....	8
4.2. Priprema površine .....	9
4.2.1. Mehanička metoda .....	9
4.2.2. Kemijska metoda.....	9
4.2.3. Elektrokemijske metode .....	9
4.3. Nanošenje premaza .....	10
4.3.1. Nanošenje premaza četkama .....	10
4.3.2. Nanošenje premaza lopaticama .....	10
4.3.3. Nanošenje premaza valjcima.....	10
4.3.4. Nanošenje premaza prskanjem.....	10
4.3.5. Nanošenje premaza uranjanjem .....	11
4.3.6. Nanošenje premaza prelijevanjem .....	11
4.3.7. Nanošenje premaza elektroforezom .....	11
4.4. Komponente premaza.....	12
4.4.1. Veziva.....	12
4.4.1.1. Sušiva ulja i uljno-smolni premazi.....	12
4.4.1.2. Alkidne smole .....	13
4.4.1.3. Nezasićene poliesterske smole .....	13
4.4.1.4. Epoksidne smole .....	13
4.4.1.5. Poliuretani .....	14
4.4.1.6. Vinilne smole .....	14
4.4.1.7. Akrilatna veziva .....	14
4.4.1.8. Fenoplasti i aminoplasti .....	15
4.4.1.9. Silikonske smole .....	15
4.4.1.10. Etilsilikati .....	16
4.4.1.11. Klorkaučuk .....	16
4.4.1.12. Bitumeni i katranske smole .....	16
4.4.2. Otapala .....	17
4.4.3. Pigmenti .....	17
4.4.4. Punilo .....	17
4.4.5. Aditivi.....	17
5. VISOKOTEMPERATURNE PREVLAKE .....	18
5.1 Premazi s vezivom na bazi silikona .....	18

---

6. DIMOVODI.....	20
6.1. Zahtjevi za visokotemperaturne premaze.....	25
7. EKSPERIMENTALNI DIO .....	26
7.1 Premaz „SENOTHERM-Paint ES black“ .....	27
7.2. Ispitivanje u vlažnoj komori.....	28
7.3. Ispitivanje u slanoj komori.....	29
7.4. Ispitivanje postojanosti na povišenoj temperaturi.....	30
7.5. Mjerenje debljine premaza .....	32
7.6. Mjerenje debljine premaza nakon izlaganja korozivnim uvjetima i povišenoj temperaturi .....	34
7.7. Ispitivanje prionjivosti premaza „Cross-cut“ testom .....	35
7.4. Ispitivanje tvrdoće premaza .....	39
8. ZAKLJUČAK.....	41

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Mehanizam kemijske korozije [2].....	3
Slika 2. Mehanizam elektrokemijske korozije u vlažnoj atmosferi [2].....	3
Slika 3. Shematski prikaz korozija prema geometrijskom obliku koruzijskog razaranja [3] ....	5
Slika 4. Primjeri dobrih i loših konstrukcijskih rješenja [1] .....	7
Slika 5. Podjela prevlaka [4] .....	8
Slika 6. Komponente premaza [1].....	12
Slika 7. Primjer korištenja silikonskih smola u zaštiti industrijskih dimovoda [7].....	15
Slika 8. Korodiranje čelične armature betonskih dimovoda [12].....	20
Slika 9. Prikaz dimovoda podijeljenog na zone [12] .....	21
Slika 10. Unutrašnjost čeličnog dimovoda oštećenog koruzijom [13].....	23
Slika 11. Strukturno nestabilan dimovod [13] .....	23
Slika 12. Vertikalni dimovod s dodacima [14] .....	24
Slika 13. Uzorci sa nanesenim zaštitnim premazom, Laboratorij za zaštitu materijala.....	27
Slika 14. Uzorak broj 1 u vlažnoj komori, Laboratorij za zaštitu materijala .....	28
Slika 15. Uzorak broj 1 nakon vlažne komore .....	28
Slika 16. Uzorak broj 3 unutar slane komore, Laboratorij za zaštitu materijala.....	29
Slika 17. Uzorak broj 3 nakon slane komore .....	29
Slika 18. Uzorak broj 2 unutar peći, Laboratorij za zaštitu materijala.....	30
Slika 19. Uzorak broj 2 zagrijan te prikaz mjerenja temperature stijenke .....	31
Slika 20. Uređaj za mjerenje debljine premaza „Elcometer 456“ .....	32
Slika 21. Prikaz tehnike mjerenja pomoću „Elcometer 456“ .....	32
Slika 22. Pribor za mjerenje tvrdoće premaza.....	39
Slika 23. Način provođenja ispitivanja tvrdoće .....	40



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Podjela korozije prema mehanizmu nastajanja [1] .....	3
Tablica 2. Podjela prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja [1] .....	4
Tablica 3. Metode zaštite površina [1] .....	6
Tablica 4. Rezultati mjerenja debljine premaza provedeni prije eksperimenta .....	33
Tablica 5. Rezultati mjerenja debljine premaza nakon eksperimenta .....	34
Tablica 6. Ocjenjivanje prionjivosti premaza .....	35
Tablica 7. Rezultati ispitivanja za uzorak 1 .....	36
Tablica 8. Rezultati ispitivanja na uzorak 2 .....	37
Tablica 9. Rezultati ispitivanja na uzorka 3 .....	38
Tablica 10. Rezultati mjerenja prije i poslije ispitivanja na povišenoj temperaturi od 130 °C	40

## SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je proučiti dostupnu literaturu o pojavi korozije metalnih dijelova, prikazati metode zaštite od korozije te obraditi premaze protiv korozije koji su djelotvorni pri visokim temperaturama. Završni rad se sastoji od teorijskog dijela i eksperimentalnog dijela.

Teorijski dio daje uvid u procese korozije te načine na koje se može usporiti ili spriječiti korodiranje materijala. Opširnije su opisani visokotemperaturni premazi te zaštita dimovoda.

U eksperimentalnom dijelu ovog rada opisano je provedeno ispitivanje svojstava premaza za zaštitu dimovoda. Eksperiment se provodio u svrhu provjere postojanosti svojstava premaza pri izloženosti agresivnim atmosferama (vlažna i slana komora) te povišenoj temperaturi. Na temelju dobivenih rezultata eksperimenta dana je procjena kakvoće i zaštite koju korišteni premaz nudi.

Ključne riječi: korozija, premazi, dimovodi, zaštita dimovoda

## **SUMMARY**

The goal of this Bachelor thesis was to study available literature about corrosion appearance on metals and investigate methods of protection against corrosion. For the method of protection from corrosion this paper considers high temperature coatings and their application in chimneys. This paper is structured in two parts: theory and experiment.

The theoretical part of this paper provides an insight into the processes of corrosion and the ways in which the corrosion of materials can be slowed down or prevented. As a desirable method of protection, high-temperature coatings and chimney protection are considered and described in more detail.

In the experimental part of this paper, the testing of the properties of coatings for chimney protection was conducted. The experiment was performed in order to check the stability of the properties of the coating when exposed to aggressive atmospheres (humidity and salt chamber) and high temperature. Based on the obtained results of the experiment, an assessment of the quality and protection offered by the used coating is given.

Key words: corrosion, coatings, chimneys, chimney protection

## 1. UVOD

Korozija je štetni proces u kojem se materijal nenamjerno i nepoželjno troši te postaje druga tvar pri čemu dolazi i do promjene sastava medija kao posljedica kemijskog međudjelovanja materijala i medija. Pokretačka snaga korozije rezultat je smanjivanja slobodne energije, stoga se korozija smatra spontanim procesom. Korozija se može pojaviti na nebrojeno mnogo materijala i uzrokovati značajne novčane gubitke za industriju i pogon stoga je u interesu inženjera pronaći načine kojima će se umanjiti i usporiti proces i djelovanje korozije.

U ovom radu dan je uvid o oblicima korozije vrste korozije koje pogađaju metalne materijale te načine zaštite kojima se oblaže materijal u cilju prevencije korozije.

Iako postoji mnogo metoda zaštite, od osobitog su interesa visokotemperaturni premazi koji zadovoljavaju posebne kriterije kao što su čvrstoća i otpornost na mehanički ili termodinamički zamor. Zaštita visokotemperaturnim premazima je jedan od učinkovitih načina kojima je moguće spriječiti raspadanje materijala i svesti troškove štete od korozije na minimum.

## 2. KOROZIJA

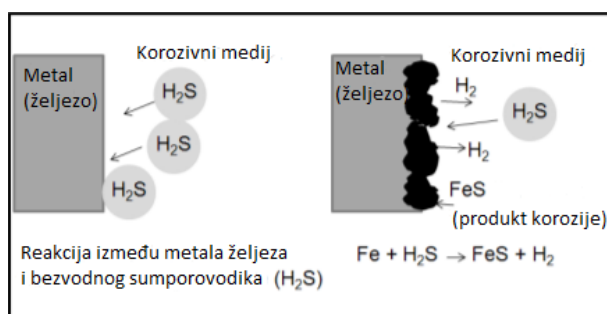
Korozija je štetni proces u kojem se kemijskim međudjelovanjem materijala i medija uništava materijal. Materijal se nenamjerno i nepoželjno troši. Iako se korozija može pojaviti na različitim materijalima, fokus ovog rada jest korozija na metalima. Metalno stanje sadržava visoku energiju, a po prirodnim zakonima metal teži reakcijama s drugim tvarima i oslobođenjem energije prelazi u stanje niže energije. Pri takvim reakcijama dolazi do nastajanja korozije i brojnih problema s kojima se korozija povezuje. Korozija smanjuje masu metala i njegovu uporabnu vrijednost, skraćuje vijek trajanja proizvoda, poskupljuje održavanje te uzrokuje zastoje u radu.

Navedeni problemi vežu i velike novčane gubitke zbog čega je cilj svakog inženjera da se pojava korozije spriječi. Korozija smanjuje masu proizvoda i skraćuje vijek trajanja proizvoda. Provode se brojna istraživanja u kojima se procjenjuju štete i propadanje proizvedenog materijala te gubici od korozije koji u nekim slučajevima iznose i milijarde dolara na godinu. [1]

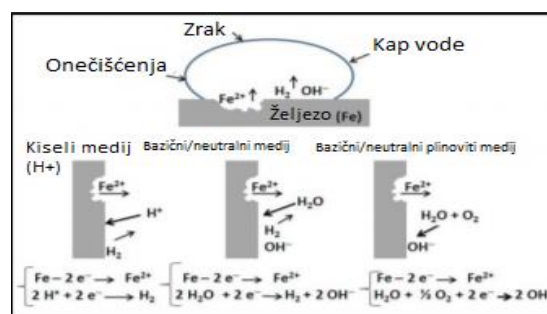
Postupci kojima se pokušavaju usporiti ili spriječiti navedeni problemi uključuju primjenu metoda površinske zaštite jer štetne pojave i procesi najčešće započinju na površini materijala. Neki od metoda površinske zaštite su: primjena korozijskih postojanih materijala, upotreba konstrukcijsko-tehnoloških mjera zaštite, korištenje elektrokemijskih metode (katodna i anodna zaštita), zaštita inhibitorima te zaštita prevlačenjem. Koroziju možemo podijeliti na nekoliko vrsta i po nekoliko različitih podjela kao što je vidljivo u Tablicama 1. i 2. [1]

Tablica 1. Podjela korozije prema mehanizmu nastajanja [1]

	TIP KOROZIJE	KARAKTERISTIKE
Prema mehanizmu	Kemijska	Odvija se u neelektrolitnom mediju koji ne provodi struju (npr. vrući plinovi te organske tekućine koje ne sadržavaju vodu poput nafte). Nastaju spojevi metala s nemetalnim elementima (npr. oksidi i sulfidi) koji čine korozijski produkt (Slika 1).
	Elektrokemijska	Odvija se u električno vodljivom mediju (elektrolitu). Korozija se javlja zbog razlike potencijala te dolazi do redukcijsko-oksidacijskih procesa. Metal oksidira, a nemetalni dio se reducira (Slika 2).



Slika 1. Mehanizam kemijske korozije [2]

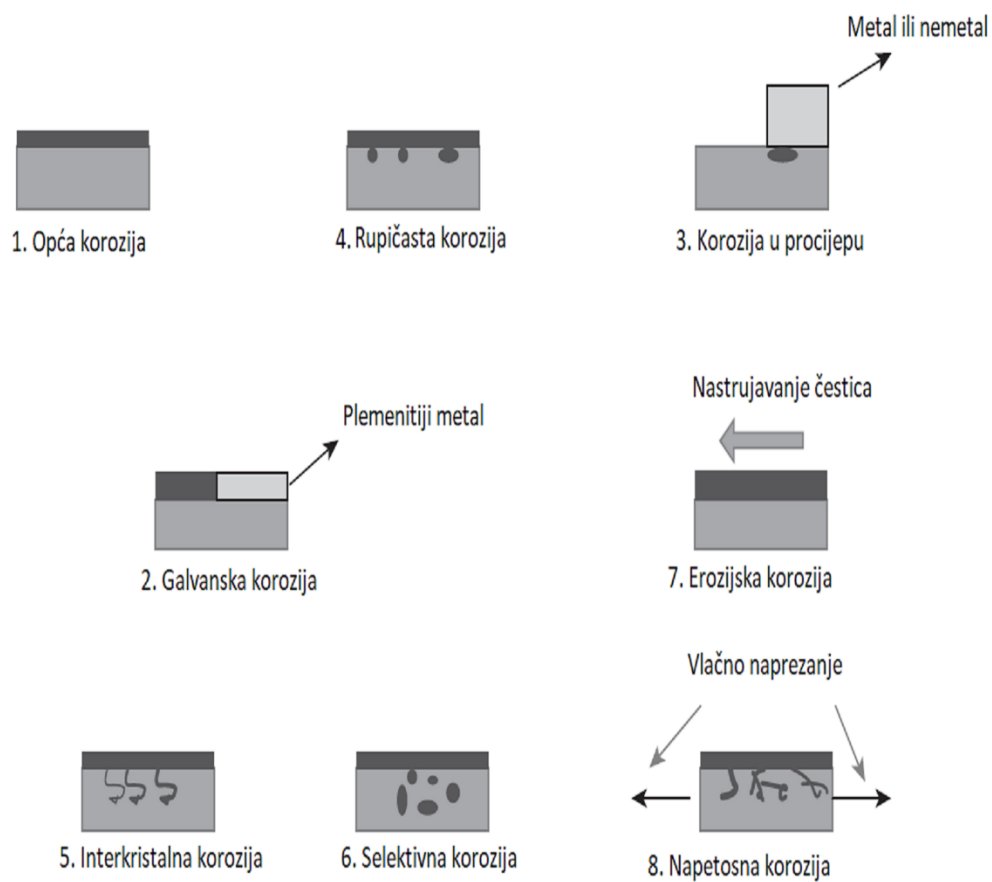


Slika 2. Mehanizam elektrokemijske korozije u vlažnoj atmosferi [2]

**Tablica 2. Podjela prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja [1]**

	<b>TIP KOROZIJE</b>	<b>KARAKTERISTIKE</b>
<b>Prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja</b>	1. Opća korozija	Opća korozija je najčešći tip korozije te ujedno i najmanje opasan. Zahvaća jednako cijelu površinu materijala te se jednostavno prati i sanira. Postoje dva oblika opće korozije: neravnomjieran i ravnomjieran. Neravnomjieran oblik opće korozije je opasniji od ravnomjernog.
	2. Galvanska korozija	Galvanska korozija se javlja zbog razlike potencijala između metala u elektrolitu. Formira se galvanski članak te elektronegativniji metal postaje anoda, a pozitivniji katoda. Brzina galvanske korozije ovisi o razlici između potencijala metala, a što su udaljeniji korozija je brža.
	3. Korozija u procijepu	Dolazi do nakupljanja vode i nečistoća u procijepima te se time mijenja pH-vrijednost i povećava agresivnost okoline na konstrukciju. Anodni dio se nalazi unutar procijepa, a katodni dio van procijepa.
	4. Rupičasta korozija	Lokalizirani tip korozije kružnog oblika, a dubina prodiranja je nekoliko puta veća od širine korozije. Javlja se kod izloženih površina koje imaju neko oštećenje ili promjenu u svom sastavu (nehomogena struktura, povećano djelovanje vanjskih faktora).
	5. Interkristalna korozija	Posebno opasan oblik korozije jer se događa u mikrostrukturi materijala te može dovesti do raspadanja materijala prije nego je to moguće uočiti. Nastaje na granicama kristala metala te napreduje i uništava metalne veze između atoma. Najpogođeniji su: nehrđajući čelici (feritni i austenitni) te legure na bazi nikla i aluminija.
	6. Selektivna korozija	Korozija koja pogađa višekomponentne materijale tako da zahvaća jednu fazu npr. decinkacija mjedi. Izrazito opasan oblik jer pretvara čvrst i duktilan metal u slab i krhak.
	7. Erozijska korozija	Istodobno dolazi do kemijskog (korozijskog) i fizikalnog (erozijskog) oštećenja materijala.
	8. Napetosna korozija	Napetosna korozija se događa pri istodobnom djelovanju vlačnog naprezanja te agresivnog medija. Da bi došlo do napetosne korozije mora postojati neko naprezanje (zaostala naprezanja u materijalu ili vanjska naprezanja).

Na slici 3. dan je shematski prikaz korozije prema geometrijskom obliku kemijskog razaranja.



**Slika 3. Shematski prikaz korozija prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja [3]**



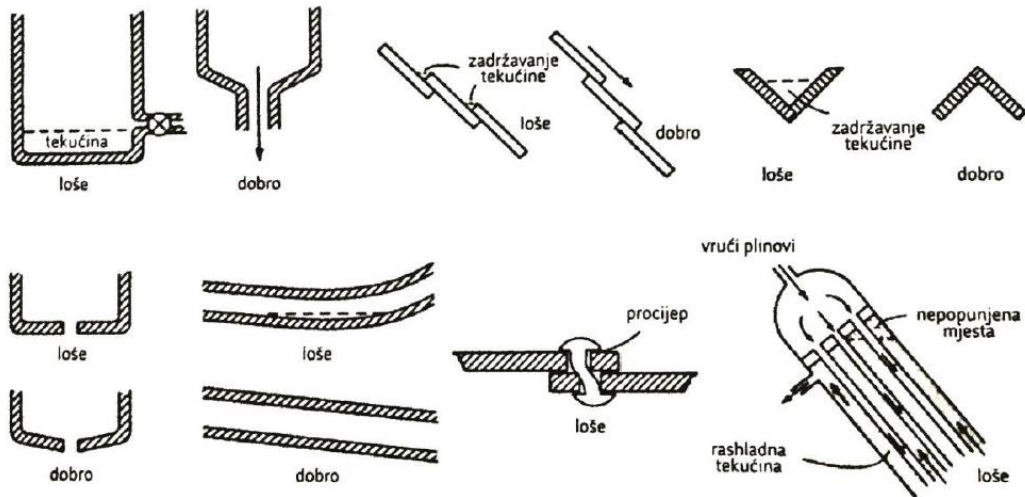
### 3. ZAŠTITA MATERIJALA OD KOROZIJE

Metode zaštite se temelje na smanjenju pokretačke sile korozije ili povećanju otpora materijala pod djelovanjem pokretačke sile. Iz toga slijedi da materijal možemo zaštititi promjenom unutarnjih čimbenika, promjenom vanjskih čimbenika ili odvajanjem materijala od medija. Podjela metoda zaštita je dana u Tablici 3. [1]

**Tablica 3. Metode zaštite površina [1]**

<b>Metoda</b>	<b>Karakteristike</b>
Konstruktivsko-tehnološke mjere	Odabirom tehnološkog procesa koji omogućava postizanje bolje homogenosti strukture materijala (bez zaostalih naprezanja) i kvalitetniju površinu obrade, uvelike se smanjuje pojava korozije. Pravilan odabir lokacije pogona i opreme unutar pogona, izrada konstrukcija koja onemogućava nakupljanje vode i drugih nečistoća, smanjivanje erozijskog djelovanja u cjevovodima postavljanjem manjih radijusa u koljenima neke su od metoda za smanjenje pojave korozije. Navedene mjere također su prikladne za rješavanje problema galvanске (bimetalne) korozije.
Primjena korozijski postojanih materijala	Pravilnim odabirom materijala direktno se utječe na sigurnost i dugotrajnost konstrukcije. U novije doba sve se više upotrebljavaju materijali otporniji na koroziju kao npr. primjena nehrđajućeg čelika.
Elektrokemijska zaštita	Katodnom zaštitom se snižava potencijal metala i tako ga se dovodi u imuno stanje. Kada se koristi u kombinaciji s zaštitom premaza daje najbolje rezultate te je poslije zaštite premazima najčešća metoda zaštite.
	Anodnom zaštitom se potencijal povisuje tako da se stvore korozijski produkti koji djeluju kao zaštitna barijera.
Zaštita inhibitorima korozije	Zaštita se provodi tvarima anorganskog ili organskog podrijetla koje smanjuju brzinu korozije, najčešće se primjenjuju za zaštitu u elektrolitu, ali mogu se i koristiti kao zaštita od atmosferske korozije. Dije se na: anodne, katodne, mješovite te hlapive inhibitore. Također se dodaju u temeljne zaštitne premaze.
Zaštita prevlačenjem	Prevlake dijelimo na: metalne i nemetalne (organske i anorganske). Prevlake se koriste kao barijera prema agresivnom mediju te se mogu koristiti kao zaštita od erozije i zbog estetskih razloga. Kvaliteta zaštite ovisi o debljini prevlake te o stupnju njezine kompaktnosti i o čvrstoći prijanjanja. Čelične konstrukcije su najčešće prevučene organskim prevlakama.

Na slici 4. prikazani su primjeri različitih konstrukcijskih rješenja.



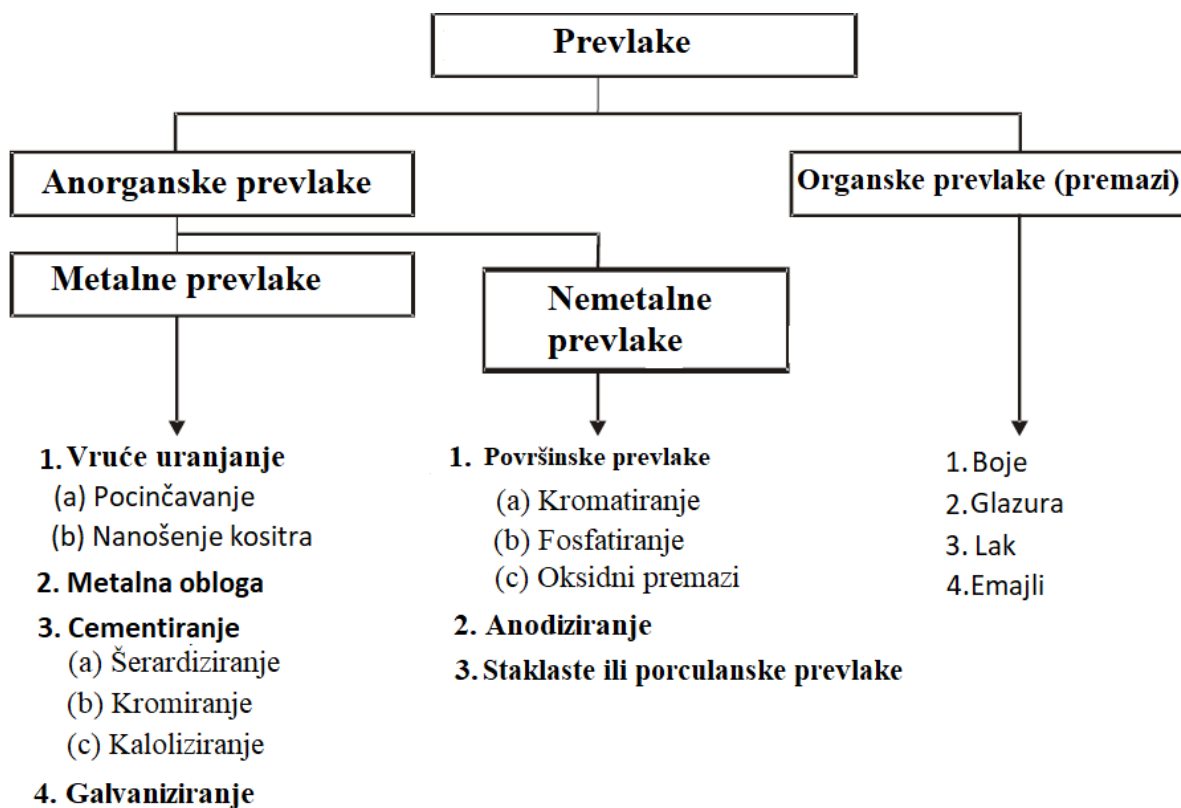
Slika 4. Primjeri dobrih i loših konstrukcijskih rješenja [1]

## 4. ZAŠTITA PREMAZIMA

Premazi tvore fizičku barijeru između metala i okoline. Osim zaštitne funkcije mogu imati i estetsku funkciju te mogu imati neka druga svojstva kao što su: tvrdoća, električna svojstva, otpornost na oksidaciju i termo izolaciju. [4]

### 4.1. Podjela prevlaka

Na slici 5. je shematski prikazana podjela prevlaka.



Slika 5. Podjela prevlaka [4]

## 4.2. Priprema površine

Priprema površine se koristi kako bi se postigla što bolja prionjivost prevlake. Potrebno je ukloniti sve nečistoće i rahla onečišćenja (masne tvari, korozijski produkti, prašina i čađa), a drugi proces koji se provodi je kondicioniranje površine kako bi se postigla potrebna hrapavost površine radi boljeg prijanjanja prevlake. [1]

### 4.2.1. Mehanička metoda

Mehanička metoda pripreme površine je pogodna za uklanjanje površinskih nepravilnosti i oksida (brušenje, struganje, pjeskarenje). [4]

Mehaničko čišćenje se može provoditi ručno ili strojno. Ručno se koristi na određenim manjim mjestima i nije prikladna za veće površine. Strojno čišćenje se provodi pomoću električnih i pneumatskih alata. Strojnim čišćenjem se povećava produktivnost čišćenja površine. [1]

### 4.2.2. Kemijska metoda

Kemijska metoda koristi se za uklanjanje masti i ulja uz korištenje otapala poput alkohola i ksilena. Nakon upotrebe otapala potrebno je sve još jednom očistiti vrućom vodom ili parom. Kemijske metode se dijele na bazične i kisele metode. Bazična metoda se koristi za skidanje starih boja na bazi ulja. Kisela metoda se koristi tako da se metal uroni u otopinu pri povišenim temperaturama. Za magnetske metale koriste se kiseline kao što su:  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  te  $H_3PO_4$ , a za nemagnetske metale se najčešće koristi  $HNO_3$ . [4]

### 4.2.3. Elektrokemijske metode

Elektrokemijska metoda je metoda koja se koristi kada je stupanj oksidacije prevelik za upotrebu ostalih metoda pripreme površina za primjenu zaštitnih postupaka. Ovisno o materijalu koji koristimo, postoji katodna i anodna elektrokemijska metoda čišćenja površine. [4]

### 4.3. Nanošenje premaza

Nanošenje premaza na metalne i nemetalne podloge se uglavnom obavlja u više slojeva koji se potpuno ili djelomično suše prije nanošenja sljedećeg sloja. Veziva slojeva koji se dodiruju moraju biti istovrsna ili kompatibilna. Nužna je i kompatibilnost između podloge i temeljnog premaza, te između veziva i razrjeđivača/otapala s jedne strane i pigmentata, punila i aditiva s druge strane. Premazi se mogu nanositi na različite načine, a to su: četkama, lopaticama, valjcima, prskanjem, uranjanjem, prelijevanjem i elektroforezom. [5]

#### 4.3.1. Nanošenje premaza četkama

Četke (kistovi) se sastoje od snopova životinjskih, biljnih ili sintetičkih vlakana. Loša strana korištenja četke je niska produktivnost te tragovi kista koji ostaju nanošenjem premaza kistom. Tragovi kista uzrokuju lokalnu neravnomjernost debljine premaza i narušavaju estetski izgled površine koja je premazana. Prednost korištenja četke kod nanošenja premaza je brzina i mobilnost kod zahvata popravka oštećenog premaza. [5]

#### 4.3.2. Nanošenje premaza lopaticama

Lopaticice se izrađuju od čelika, a služe za nanošenje kitova i premaza čija svojstva su slična pastama s velikim udjelom suhe tvari. Nanošenjem premaza lopaticama dobivaju se debele prevlake debljine veće od 0,1 mm. Postupak nanošenja je sličan postupku nanošenja četkama. [5]

#### 4.3.3. Nanošenje premaza valjcima

Nanošenje premaza valjcima od vune i drugih vlakana mnogo je produktivnije od četkanja, ako se radi o nanošenju premaza na veće plohe. Premaz se valjcima slabije utrlja na površinu u odnosu na nanos četkom, ali je sloj glađi i ravnomjerniji. [5]

#### 4.3.4. Nanošenje premaza prskanjem

Prskanje boja i lakova obavlja se pomoću stlačenog zraka na sobnoj ili povišenoj temperaturi, bezračnim i elektrostatičkim postupkom. [5]

Za zračno prskanje koriste se pištolji u koje se dovodi stlačeni zrak pod tlakom od 0,12 do 0,5 MPa i premaz koji se želi nanositi. Ušće pištolja je udaljeno od podloge 150 do 200 mm, a širina mlaza iznosi oko 300 mm.

Zbog nastanka magle od sitnih kapljica premaza dolazi do gubitka premaza prskanjem u okolinu, a gubici su osobito veliki pri prskanju duguljastih površina. Prednost zračnog prskanja je visoka produktivnost, ravnomjerna debljina premaza i estetika. [5]

Bezračno prskanje može biti pneumatičko ili hidrauličko. Mlaz nastaje u pištolju bez miješanja s zrakom, a tlak u pištolju iznosi od 1-30MP. Profesionalni bezračni uređaji rade na tlakovima iznad 10 MPa i daju usmjeren mlaz bez gubitaka. Produktivnost je znatno veća nego pri zračnom prskanju, a rezultat su deblje prevlake što može dovesti do smanjenja potrebnih slojeva premaza. Presnažan mlaz može otežati dobivanje potpuno glatkih prevlaka visoke estetikom. [5]

Za elektrostatičko prskanje premaza nužan je visok napon (30-150 kV) između pištolja i obradaka koji su obješeni na uzemljeni prijenosnik. Potrebne struje su vrlo male (100-200  $\mu$ A). [5]

#### **4.3.5. Nanošenje premaza uranjanjem**

Uranjanjem se premazi nanose na manje, jednostavnije obratke koji se proizvode u velikim serijama. Gubici su mali, ali je teško postići jednoliku debljinu prevlake na kompliciranim profilima te na unutarnjim i vanjskim površinama cijevi. [5]

#### **4.3.6. Nanošenje premaza prelijevanjem**

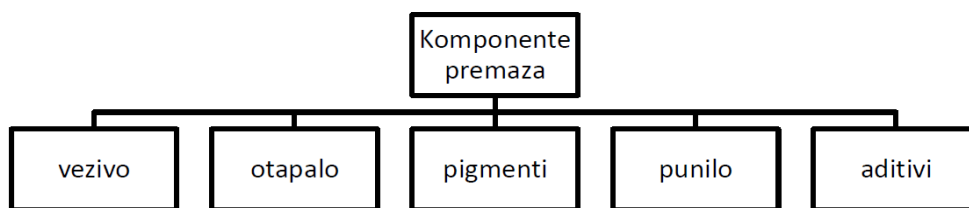
Preljevanjem se obično premazuju veći proizvodi po čijoj se površini premazi lako razlijevaju, a nisu prikladni za prskanje zbog velikih gubitaka (rešetkasti i rebrasti proizvodi). [5]

#### **4.3.7. Nanošenje premaza elektroforezom**

Elektroforeza najčešće služi za nanošenje premaza na metal u vodenim disperzijama ili otopinama premaza. Vodene disperzije ili otopine premaza sadrže pozitivno i negativno nabijene čestice polimernog veziva s pigmentom ili bez njega, a voda je suprotno nabijena od čestica polimernog veziva. U istosmjernom električnom polju čestice premaza putuju prema suprotno nabijenoj površini, a čestice vode odlaze na drugu stranu te se dobiva suhi premaz. Elektroforetički se nanose samo temeljni premazi debljine 20-35  $\mu$ m. [5]

## 4.4. Komponente premaza

Termin boje se odnosi na pigmentirani materijal koji se razlikuje od bezbojnih filmova koje nazivamo lakovima. Premazi se sastoje od veziva (čini opnu prevlake) i otapala/razrjeđivača (otapa vezivo i regulira viskoznost). Lakovi mogu sadržavati pigment ali i ne moraju, a od boje se razlikuju po tome što imaju veću glatkoću, sjaj i tvrdoću. Najčešće se i boje i lakovi nanose u više slojeva. Sve komponente koje premaz može sadržavati prikazane su u slici 6. [1]



Slika 6. Komponente premaza [1]

### 4.4.1. Veziva

Veziva su tvari koje osiguravaju zaštitu površine materijala od korozije tako da tvore homogeni film na površini. Veziva određuju svojstva filma. [6]

Vezivo čini dio premaza koji ne isparava, a u većini slučajeva kombinira se više vrsta veziva kako bi se postigla svojstva premaza koja su nam potrebna. [1]

#### 4.4.1.1. Sušiva ulja i uljno-smolni premazi

Sušiva ulja se smatraju jednim od najstarijih veziva koja se koriste. Sastoje se od estera glicerola i karboksilnih kiselina. Uljni premazi se koriste u premazi za zaštitu metala i drva, postojani su u atmosferi te čak mogu podnijeti i nagle promjene temperature, ali se ne mogu koristiti pri povišenim temperaturama i nepostojani su u mnogim kapljevinama (lužnate otopine i organska otapala). [1]

Uljno-smolni premazi su nastali kombinacijom sikativiranih uljnih veziva s umjetnom ili prirodnom smolom kako bi se postigla bolja svojstva. [1]

#### 4.4.1.2. Alkidne smole

Alkidne smole su poliesteri viševalentnih alkohola (glicerola) i dvovalentnih karbonskih kiselina (maleinska kiselina). Alkidi se vrlo često miješaju s drugim vezivima jer čisti alkidi čine premaz tvrdim i glatkim, a modificiran može postići puno bolja svojstva (veća tvrdoća, otpornost na abraziju). Također je premaz sastavljen od čistog alikdnog veziva postojan u atmosferi i slatkoj vodi te je otporan na temperature do 120 °C, ali nije ga moguće sušiti na zraku te nakon isparavanja ga je potrebno peći. Postojanost u slabo kiselim i lužnatim otopinama se postiže miješanjem s epoksidnim smolama, poliuretanima i akrilatima, a postojanost na više temperature se postiže miješanjem sa silikonima i fenoplastima. [1]

#### 4.4.1.3. Nezasićene poliesterske smole

Nezasićene poliesterske smole se tvore sintezom nezasićene dikarbonske kiseline s dvovalentnim alkoholima. Umrežuju se pomoću stirena. Suše se uz pomoć parafinskog voska (na zraku ili UV-sušenje). Na površini filma se stvara sloj voska koji sprječava dodir s kisikom te smanjuje hlapljenje stirena (važno zbog štetnosti stirena na ekološki sustav). Postojane su u atmosferi, vodi, slabo kiselim i lužnatim otopinama te mnogim otapalima te su otporne na mehaničko trošenje i ne mijenjaju boju prilikom izloženosti Sunčevim svjetlostima. Primjenjuju se do temperatura od 120 °C i koriste se kao lakovi za zaštitu namještaja te kao visokokvalitetni kitovi za zaštitu vozila. [1]

#### 4.4.1.4. Epoksidne smole

Epoksidne smole su polieteri viševalentnih alkohola i fenola. Fenoli sadržavaju etilenoksidne prstene i slobodne OH- skupine što omogućava otvrdnjavanje (katalitičko ili termičko) daljnjim povećavanjem i umrežavanjem makromolekula. Premazi čije vezivo je epoksidna smola mogu biti jednokomponentni ili dvokomponentni. Jednokomponentni premazi se peku (čista epoksidna ili epoksidno-fenilina veziva), a neki jednokomponentni premazi su i vodorazrjedivi. Dvokomponentni premazi otvrdnjavaju katalitički ili pečenjem. Epoksidni premazi su najčešće dvokomponentni, a glavni sastojak prve komponentne je epoksidna smola te još sadrži: pigmente, punila, otapala i aditive ovisno o svojstvima koja se žele postići. Druga komponenta se sastoji od polimera koji otvrdnjuju s epoksidnim smolama tako da se događa kemijska reakcija preko epoksidne ili hidroksilne skupine. Dvije komponentne se najčešće miješaju neposredno prije upotrebe.



Postoje tri osnove vrste epoksidnih premaza a to su: bisfenol-A, bisfenol-F te novolac. Epoksidni premazi se koriste u atmosferi i vodi te u kiselim i lužnatim vodenim otopinama kao i u tlu i ogranskim otapalima. Podnose temperature do 120 °C te vrlo dobro prijanjaju na podlogu te su čvrsti i glatki, ali djelovanjem UV-sunčevih zraka može doći do rastvaranja veziva. [1]

#### **4.4.1.5. Poliuretani**

Poliuretani su smole s  $-NH \cdot COO-$  skupinama u makromolekulama koje nastaju reakcijom između organskih spojeva s izocijantnim radikalom  $-N = C = O$  i više valentnih fenola, alkohola i drugih organskih spojeva sa  $-OH$  skupinama. Premazi čije je vezivo poliuretan mogu biti jednokomponentni ili dvokomponentni. Jednokomponentni premazi čije je vezivo poliuretan otvrdnjavaju se pomoću vlage iz zraka te pečenjem na temperaturi većoj od 85 °C ili su veziva pomiješana s katranskom smolom. Najkvalitetniji premazi čija je osnova poliuretana su dvokomponentni premazi od izocijanatnog i poliesterskog dijela koji međusobno reagiraju te tako otvrdnjavaju, takvi premazi daju odlična svojstva otpornosti na abraziju te otpornost na temperature do 170 °C, a premaz ima lijep izgled koji je postojane nijanse i sjaja na suncu. [1]

#### **4.4.1.6. Vinilne smole**

Vinilne smole su termoplastični polimeri kojima je osnova monomer od supstituiranog etilena. Sušenje premaza koji sadrže vinilnu smolu se provodi isparavanjem otapala, a premazi su otporni do temperature od 70 °C te su postojani u atmosferi i vodi kao i u kiselim i lužnatim otopinama. Kako bi se poboljšala svojstva miješa se sa nezasićenim poliesterom, alkida, akrilata i fenoplasta. [1]

#### **4.4.1.7. Akrilatna veziva**

Akrilatna veziva mogu biti ili termoplastična ili duromerna. Premazi kojima je osnova termoplastično akrilatno vezivo otvrdnjuju isparavanjem otapala te se postiže dobra mehanička svojstva i otpornost na UV-svjetlo, ali su postojani na temperature do 70 °C. Primjenjuju se u vodi i u razrijeđenim kiselinama i lužinama. Premazi kojima je osnova duromerno akrilatno vezivo su tvrđa od premaza s osnovom od termoplastičnog akrilatnog veziva, ali su manje postojani u kiselim i lužnatim otopinama. [1]

#### 4.4.1.8. Fenoplasti i aminoplasti

Fenoplasti i aminoplasti daju duromerna veziva premaza koja se zbog krhkosti redovito modificiraju različitim drugim vezivima (sušiva ulja, alkidi, epoksidne smole). Aminoplasti su povoljniji a fenoplasti se češće koriste jer daju bolja svojstva kao što su: tvrdoća premaza, otpornost na mehaničko trošenje te mogućnosti grijanja i do 300 °C, nezapaljivost te postojanost u atmosferi, vodi i neoksidativnim kiselinama, lužnatim otopinama. [1]

#### 4.4.1.9. Silikonske smole

Silikonske smole se baziraju na vrlo stabilnoj anorganskoj vezi Si-O-Si (siloksan ili polisilksan). Sadržavaju organski radikal (metil ili fenil) koji je kemijskim vezama vezan na osnovni lanac preko Si-C veze. Organsko-anorganska struktura i visoka funkcionalnost daju premazima čija je vezivo silikonska smola izvrsna svojstva primjene. Svojstva silikonskog veziva su: vodoodbojnost, trajnost i paropropusnost te ne mijenja izgled na zraku ni pod utjecajem Sunčevih zraka, a ima dobru prijanjivost na metale i građevinske materijale. Zbog svojih odličnih svojstva toplinske stabilnost koriste se u visokotemperaturnim premazima (zaštita dimnjaka). Podnose temperature do 600 °C. [1]

Na slici 7 prikazan je industrijski dimovod zaštićen silikonskom smolom.



**Slika 7. Primjer korištenja silikonskih smola u zaštiti industrijskih dimovoda [7]**

#### 4.4.1.10. Etilsilikati

Etilsilikati pripadaju u anorganska veziva (film stvaraju otvrdnjavanjem uz prisutnost vlage iz zraka). Najčešće se primjenjuju u kombinaciji s cinkom u cinksilikatnim premazima. Posjeduju izuzetnu otpornost na atmosferske uvjete i organska otapala te imaju iznimnu tvrdoću i otpornost na temperature i do +400 °C, a postojani su u srednjem pH-području (od 6 do 9). Koriste se za zaštitu spremnika za kemikalije te kao radionička zaštita (podnose visoke temperature zavarivanja i rezanja). [1]

#### 4.4.1.11. Klorkaučuk

Klorokaučuk se dobiva od prirodnog ili sintetskog kaučuka koji se zatim degradira do spojeva niskomolekulske mase koji se zatim otapa u ugljikovu tetrakloridu i reagira s klorom te se tvore dvostruke veze ( konačni sadržaja klor je 65-68 %). Najčešće se koristi u premazima koji se suše na zraku, ali se može koristiti u premazima koji se suše na povišenim temperaturama ( do 120 °C). Pri temperaturama od 135 °C klorkaučuk gubi svoja svojstva te dolazi do raspada veza. Premazi čije je vezivo klorkaučuka imaju odličnu otpornost na jake i slabe kiseline i alkalije te vodene otopine soli, ali mekšaju pod utjecajem biljnih i životinjskih ulja. Koriste se u teškim uvjetima zbog svojih svojstva barijere i niske vodopropusnosti. Najčešće se koriste u graditeljstvu te kao brodske boje i boje u kemijskoj industriji. [1]

#### 4.4.1.12. Bitumeni i katranske smole

Bitumeni i katranske smole su derivati nafte (bitumen), odnosno dobivaju se iz ugljenog katrana. Čvrsto prijanjaju na metal i postojani su u vodi i tlu kao i u slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama, a suše se isparavanjem otapala. Primjenjuju se u uskom području od -10 °C do 40 °C. Pri nižim temperaturama postaju krhki, a pri višim temperaturama postaju meki i ljepljivi. Ne mogu se koristiti u premazima koji sadrže organsko otapalo. Koriste se za zaštitu podova i krovova zbog svoje niske cijene, ali i nemogućnosti promjene boje u svjetlije nijanse. [1]

#### **4.4.2. Otapala**

Otapala su hlapivi organski spojevi u kojem se otapa vezivo (bez kemijskih promjena). Pomoću otapala se postiže određena viskoznost zaštitnog sredstva kako bi se ono što lakše nanijelo na površinu materijala koju je potrebno zaštititi. Često se koriste kao i razrjeđivači koji snizuju viskoznost premaza. Otapalo se boji dodaju pri proizvodnji, a razrjeđivač po potrebi. [1]

#### **4.4.3. Pigmenti**

Pigmenti premazu daju svojstva neprozirnosti, obojenja, nijanse te svojstva otpornosti na koroziju, ali mogu i unaprijediti neka druga svojstva kao što su: otpornost na svjetlo i grijanje, te unaprijediti neka mehanička svojstva. [1, 6]

#### **4.4.4. Punilo**

Koristi se širok raspon različitih punila kako bi zajedno s pigmentom postigli dodatna svojstva premaza (bolja mehanička svojstva, mazivost, povećanje ili smanjenje sjaja, otpornost filma prema difuziji vode i agresivnih punila). Podjelom prema kemijskom sastavu možemo ih svrstati u: sulfate, karbonate, okside i silikate. [1,6]

#### **4.4.5. Aditivi**

Aditivi se koriste kako bi se nadomjestili nedostaci u premazu te dodaju neka specifična svojstva (klizavost, vatrousparenje, svjetlostabilnost). Svojstva premaza ovise o koncentraciji aditiva jer povećanom koncentracijom aditiva ima više negativnih posljedica nego korisnih učinaka. [1]

## 5. VISOKOTEMPERATURNE PREVLAKE

Materijali koji se koriste u visokotemperaturnoj okolini moraju zadovoljavati određene kriterije kao što su čvrstoća i otpornost na mehanički ili termodinamički zamor. Tijekom uporabe te zbog djelovanja korozivne okoline, poželjna svojstva navedenih materijala počinju opadati. Zaštita premazima je jedan od načina kako spriječiti propadanje materijala. Većina visokotemperaturnih prevlaka se bazira na stvaranju oksidnog zaštitnog sloja između okoline i materijala. Cilj oksidnog sloja je stvaranje barijere između agresivne korozivne okoline i materijala kako ne bi došlo do difuzije između plinova i legure ili metala. Oksidni sloj mora zadovoljavati nekoliko kriterija kako bi se smatrao povoljnim za zaštitu materijala od visoke temperature i korozivne okoline, a to su: stabilnost pri visokim temperaturama, dobra prionjivost uz površinu te zadovoljavajuća gustoća. U općoj uporabi te kriterije zadovoljavaju tri oksida: aluminijev (III) oksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kromov (III) oksid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) i silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ). [8]

Kromov (III) oksid se primjenjuje pri temperaturama do  $900\text{ }^\circ\text{C}$  jer pri višim temperaturama tvori subokside koji isparavaju (pogotovo kod primjene u dimovodima gdje putuju plinovi visokih brzina. Keramičke prevlake ( $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) nanešeni na materijal čija je osnova ugljik mogu podnijeti temperature i do  $1800\text{ }^\circ\text{C}$ , ali uporaba ovakvih premaza je ograničena. Uporaba je ograničena zbog toga što je za tvorbu zaštitnog sloja potrebna velika količina silicija, ali silicij brzo difundira iz većine legura te je zbog toga i njihova uporaba svedena na niže temperature. [8]

### 5.1 Premazi s vezivom na bazi silikona

Premazi koji sadrže silikone mogu imati vrlo različite primjene zbog toga što se jednostavno mogu modificirati na različite načine i kombinirati s mnogo organskih polimera. Silikon je polimer silicija, gdje je silicij direktno povezan s ugljikom i barem jedna molekula kisika je povezana s silicijem. Silikoni imaju svojstva i organskih i anorganskih tvari. Siloksan (Si-O-Si) daje silikonu anorganska svojstva, dok direktna veza između silicija i ugljika silikonu daje organska svojstva. [9]

Svojstva silikona kao što je inertnost prema većini kemijskih elemenata i toplinske stabilnosti mogu biti kombinirana sa svojstvima nekog polimera. Zbog raznolikih svojstava premaza sa vezivom na bazi silikona, isti ima široku primjenu koja uključuje impregnacije i zaštite od atmosferskih uvjeta za očuvanje građevina te zaštite od korozije u premazima koji se koriste u sustavima gdje se javljaju visoke temperature. [10]

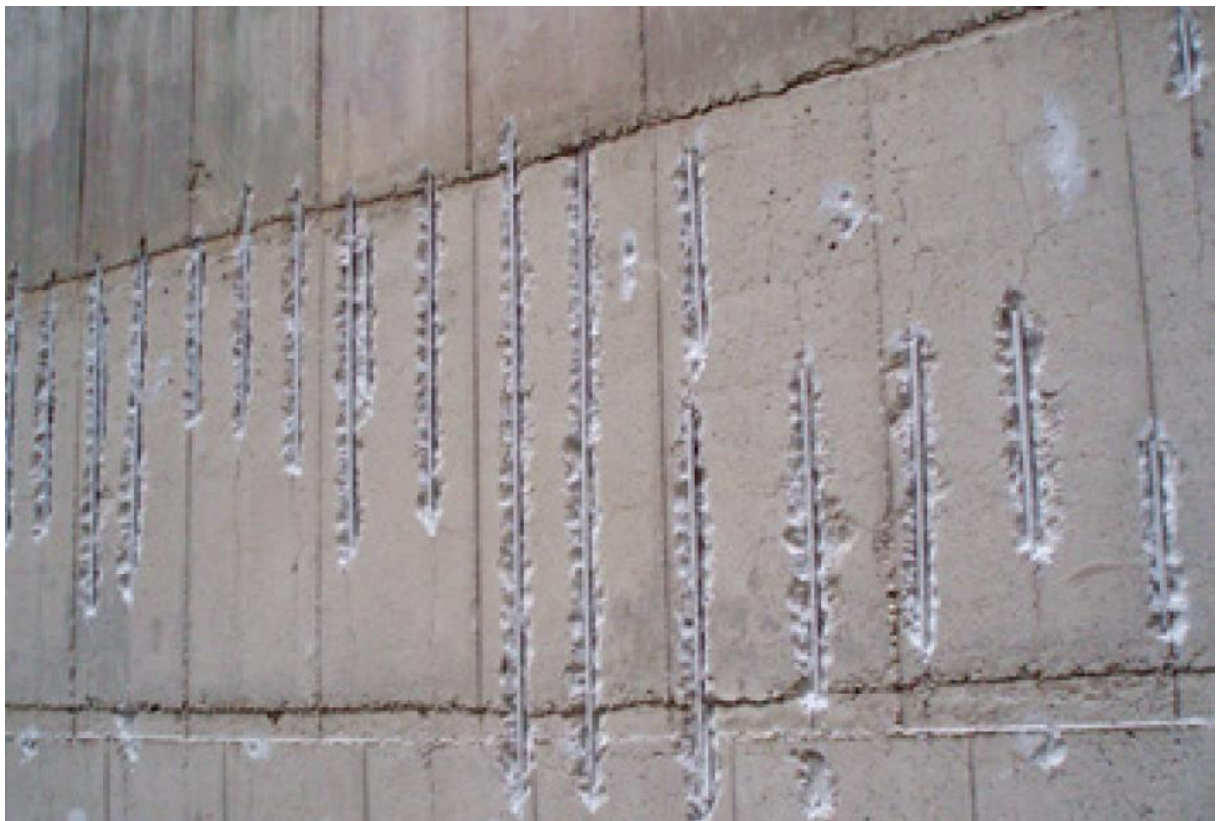
Premazi na bazi silikona mogu biti vrlo dobra zaštita od vode i od visokih temperatura. Osim toga, pokazuju odlična svojstva otpornosti na sunčevu svjetlost i atmosferske uvjete, ali su osjetljivi na kiseline i lužine. Premazi koji su otporni na visoke temperature obično se koriste za zaštitu ispuha auta, peći te dimovoda. Atomi silicija mogu s jedne ili više strana tvoriti kemijske veze s drugim kemijskim skupinama kao što su fenolna skupina ( $C_6H_5-$ ), metilna skupina ( $CH_3-$ ) ili vinilna skupina ( $CH_2=CH-$ ). Ove skupine dodaju posebna svojstva premazima kao što su: otpornost na otapala, mazivost i reaktivnost na organske kemikalije i polimere. Također, mogu utjecati na otpornost veziva na koroziju pa je prije nabavke veziva preporučljivo provjeriti sva svojstva veziva sa dobavljačem. [11]

Postoji nekoliko područja u kojima se koriste premazi čije vezivo se sastoji od silikona. To su primjerice premazi koji se koriste za zaštitu od topline i korozije na temperaturama iznad  $300\text{ }^\circ\text{C}$ . Sličnost između veziva na bazi silikata i veziva na bazi metil-silikona je posjedovanje karakteristika specifičnih za anorganske spojeve. To objašnjava njihova svojstva kao što su: relativno visoka tvrdoća, slaba pigmentacija, postojanost boje pri povišenim temperaturama (do  $650\text{ }^\circ\text{C}$ ) i nekompatibilnost s organskim vezivima. Za razliku od metil-silikona, metil/fenil-silikoni pokazuju puno bolja svojstva afiniteta prema pigmentima i bolju kompatibilnost s organskim vezivima. Metil-silikoni i metil/fenil-silikoni mogu se podijeliti u dvije grupe: premazi čija se veziva suše na sobnoj temperaturi ili veziva koja se suše pri povišenoj temperaturi. Sušenjem premaza na povišenim temperaturama osigurava se veća gustoća veza unutar premaza te premaz može podnijeti temperature do  $300\text{ }^\circ\text{C}$ . Osim toga, premaz sušen na taj način otporan je na djelovanje ulja, otpala, vlage iz zraka. Glavna primjena ovakvih premaza je za zaštitu ispuha auta, industrijskih peći, kućnih peći i roštilja. Dodavanjem različitih pigmentata kao što su čestice aluminijske i cinkove povećava im se otpornost na temperaturu i do  $650\text{ }^\circ\text{C}$ . Otpornost na temperaturu može biti i veća ako se premaz pigmentira keramičkim česticama. [10]

## 6. DIMOVODI

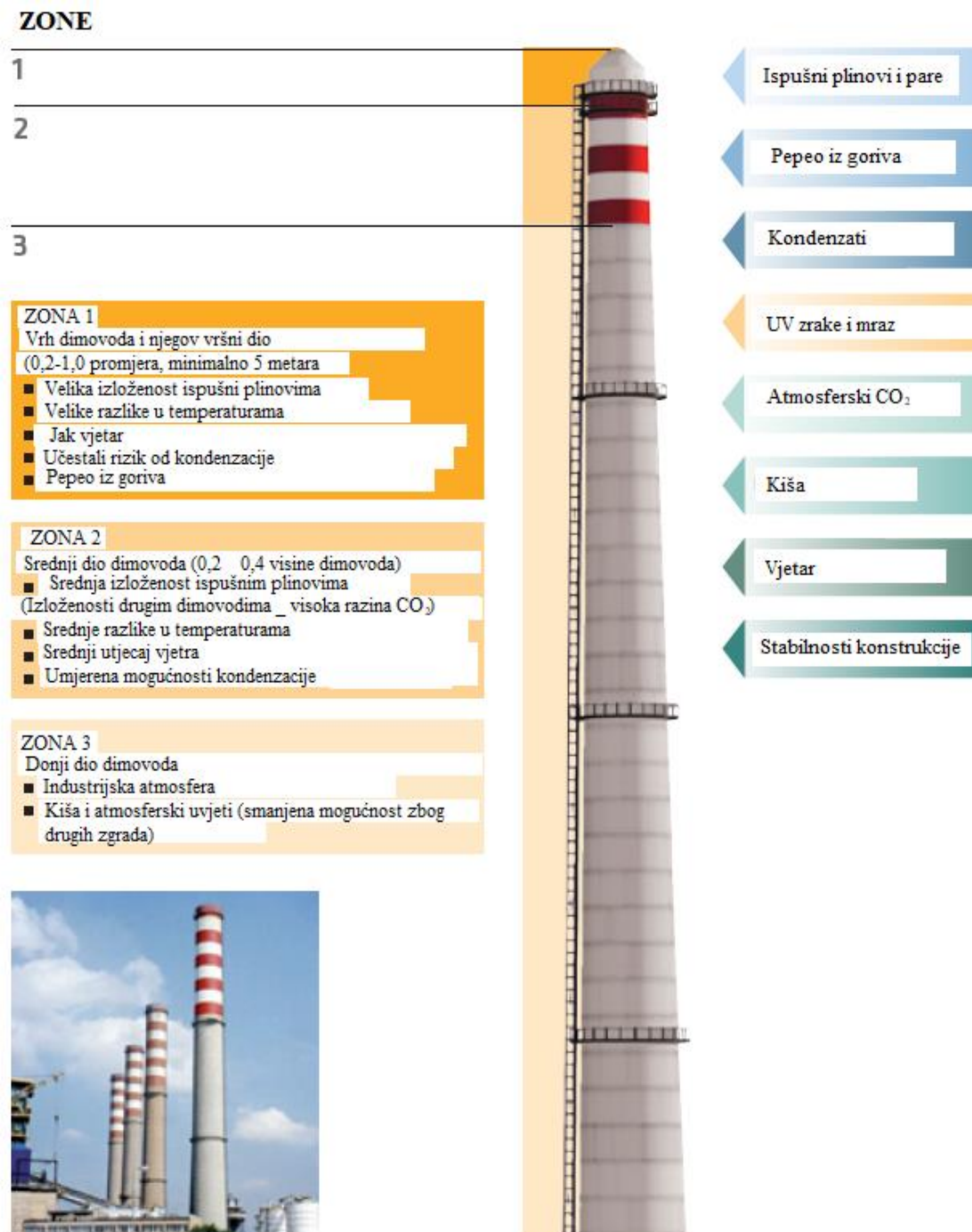
Dimovodi su konstrukcije koje se koriste za odvođenje dima, plinova i para nastalih sagorijevanjem nekog goriva. Dimovodi primjenu nalaze i u industriji i u kućanstvu. Dimovodi mogu biti napravljeni od različitih materijala poput cigle, betona i čelika. Većina industrijskih dimovoda građena je od betona visoke čvrstoće. Takav beton posjeduje vrlo dobra mehanička svojstva, ali je problem pravilno postavljanje i sušenje takvog betona.

Betonu se dodaje unutarnja armatura od čelika kako bi se poboljšala njegova svojstva. Ugljikov dioksid ulazi u beton i kemijski reagira sa kalcijevim hidroksidom. Spojevi nastali reakcijom ugljikovog dioksida i kalcijevog hidroksida smanjuju alkalnost čelika koja dovodi do pojave korozije čelika unutar betonske strukture. Korodiranje čeličnih armatura betona može se spriječiti debljinom betona. Odnosno da se čelične šipke nalaze dovoljno duboko unutar betona. Prikaz takve korozije je dan na slici 8. [12]



**Slika 8. Korodiranje čelične armature betonskih dimovoda [12]**

Industrijski dimovodi su izloženi agresivnim vanjskim, ali i unutarnjim čimbenicima. Vanjskim agresivnim čimbenicima kao što su: nakupljanje čađe, učestalo vlaženje i sušenje, velike razlike u temperaturama te utjecaj drugih dimovoda u blizini, dimovodi su izloženi zbog visine na kojoj su postavljeni. Na slici 9 je prikazan dimovod sa podjelom po zonama. [12]



Slika 9. Prikaz dimovoda podijeljenog na zone [12]



Industrijski dimovodi sadrže gotovo sve predispozicije potrebne za pojavu korozije, s obzirom da su izloženi brojnim nagrizaćim unutarnjim čimbenicima. Unutar dimovoda dolazi do odvođenja ispušnih plinova koji sadrže različite vrste elemenata. Većina plinova koji nastaju sagorijevanjem neke od vrsta goriva sadrže kisele elemente kao što su:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$  i  $\text{NO}_x$  te također sadrže veliki udio vlage. Sagorijevanjem se generiraju visoke temperature te tako i plinovi koji se ispuštaju prenose temperaturu te zagrijavaju unutarnje stijenke dimovoda, čime se u slučaju neadekvatne zaštite površine ubrzava proces korodiranja. Temperature metalnih dijelova dimovoda (posebno pri vrhu dimovoda) nisu dovoljno visoke te se kisele komponente ispušnih plinova kondenziraju na metalne stijenke dimovoda. U većini slučajeva utjecaj korozije na dimovod je devastirajući te u periodu od 4 do 5 godina dolazi do značajnog smanjenja debljine metalne stijenke dimovoda. Dimovod time postaje strukturno nestabilan te može doći do njegovog urušavanja. Postrojenja koja se nalaze na morskoj obali mogu biti izložena većoj opasnosti od korozije zbog čestica klora koji se nalaze u atmosferi. [12]

Inženjerima današnjice, korozija u dimovodima postaje sve veći problem jer je sve više kiselih komponenata u ispušnim plinovima, a to može dovesti do brže korozije. Također, postoji nekoliko drugih razloga zašto u današnje vrijeme dimovodi korodiraju toliko brzo. Prvi razlog je veća razina sumpora u gorivima, goriva koja sadrže sumpor su najčešće jeftinija te se samim time i više koriste. Zbog povećane koncentracije sumpora u gorivu (4 %-7%) ispušni plinovi sadrže veće koncentracije  $\text{SO}_2$  i  $\text{SO}_3$ . Drugi razlog ubrzanog korodiranja dimovoda je primjena alternativnih goriva. Spaljuje se otpad kako bi se uštedjelo na gorivu ili čak zaradilo na način zbrinjavanja otpada. Otpad može sadržavati dodatne čestice klora koji u kombinaciji sa sumporom ubrzava koroziju čeličnih dimovoda, a može i oštetiti nehrđajući čelik. Treći razlog ubrzanog korodiranja dimovoda je bolja filtracija čestica iz ispušnih plinova unutar samog dimovoda. Filtracija ispušnih plinova je povoljna za zaštitu okoliša, ali zadržavanjem čestica ispušnih plinova unutar dimovoda dolazi do njegovog ubrzanog korodiranja. [13]

Postoji više vrsta premaza koji se mogu koristiti za zaštitu dimovoda, ali većina njih posjeduje jedno povoljno svojstvo poput podnošenja visoke temperature ili podnošenja agresivnog djelovanja ispušnih plinova. U pravilu, jako malo premaza posjeduje oba povoljna svojstva, odnosno ne mogu podnijeti i visoku temperaturu i agresivno djelovanje ispušnih plinova. Većina premaza bude oštećena zbog procesa oksidacije i bubrenja te odvajanja premaza od čeličnih površina na koje su nanesene. Na slici 10 je prikazan izgled unutrašnjosti čeličnog dimovoda zahvaćenog procesom bubrenja i odvajanja. [13]



**Slika 10. Unutrašnjost čeličnog dimovoda oštećenog korozijom [13]**

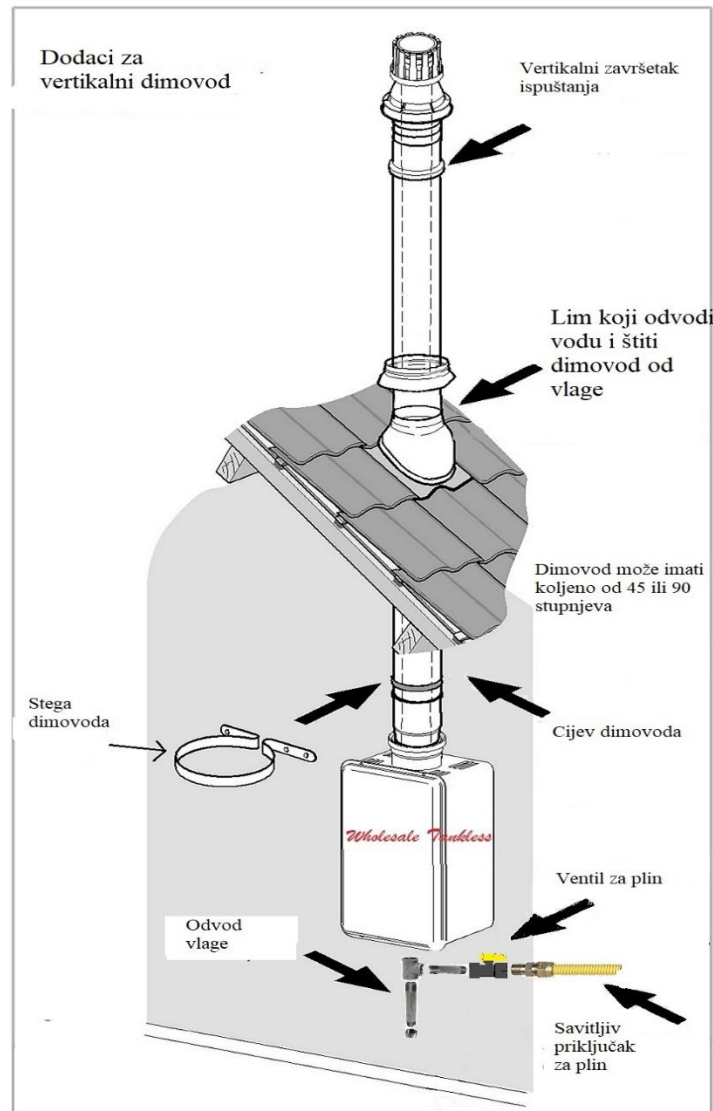
Proces oksidacije se događa kada je postignuta temperatura viša od 150 °C. Bubrenje i odvajanje premaza od površine događa se zbog nekog fizičkog oštećenja ili neadekvatne pripreme površine. Počinje kao točka koja se širi i dovodi do oštećenja premaza te samim time oštećenja dimovoda. [13]

Na slici 11 prikazan je dimovod koji je usred djelovanja korozije postao strukturno nestabilan.



**Slika 11. Strukturno nestabilan dimovod [13]**

Na slici 12 prikazan je vertikalni dimovod za kućnu uporabu sa svim dodacima.



**Slika 12. Vertikalni dimovod s dodacima [14]**

Najčešća goriva koja se koriste u kućanstvima su ukapljeni plin ili drvo. Sagorijevanjem drva se u pećima postiže temperatura od 593 °C do 815 °C. [15]

Ukapljeni plin je smjesa propana  $C_3H_8$  ili butana  $C_4H_{10}$ . Najčešće se označuje kraticom LPG (eng. liquified petroleum gas). Zapaljuje se pri temperaturama od 450 °C do 500 °C, a temperatura plamena može postići temperaturu i do 1970 °C. [16]

## 6.1. Zahtjevi za visokotemperaturne premaze

Materijali izloženi visokim temperaturama podliježu velikom riziku od korozije i predstavljaju ogroman izazov za industriju. Visokotemperaturni premazi štite čelične konstrukcije od različitih tipova korozije te moraju imati izvrsnu otpornost na temperaturni šok koji se javlja zbog naglih promjena temperatura. Zahtjevi za visokotemperaturne premaze su brojni, a neki od njih su: [7]

- odlična postojanost pri visokim temperaturama (do 600°C)
- visoka otpornost na koroziju
- odlična otpornost na UV zrake
- kemijska postojanost u agresivnim medijima
- izvrsna otpornost na abraziju
- brzo sušenje
- zadovoljavanje direktive o ograničenju opasnih tvari.

Osim navedenih zahtjeva za visokotemperaturne premaze, visokotemperaturni premazi koji se koriste za zaštitu dimovoda trebaju posjedovati dodatna svojstva kao što su: [16, 17]

- mogućnost produživanja vijeka trajanja peći i dimovoda
- poboljšanje estetike dimovoda
- otpornost na nagrizajuće djelovanje kiselina
- otpornost na nepovoljne vremenske uvjete.

## **7. EKSPERIMENTALNI DIO**

U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je ispitivanje premaza „SENOTHERM-Paint ES black“ na dimovodnim elementima. Eksperiment se provodio na 3 uzorka. Cilj eksperimenta je procijeniti kakvoću i nivo zaštite koju premaz „SENOTHERM-Paint ES black“ osigurava u različitim korozivnim atmosferama.

Provedena su ispitivanja:

- ispitivanje debljine premaza
- ispitivanje prionjivosti premaza
- ispitivanje tvrdoće premaza
- ispitivanje otpornosti premaza u vlažnim uvjetima
- ispitivanje otpornosti premaza u slanim uvjetima
- ispitivanje otpornosti premaza na povišenoj temperaturi.

## 7.1 Premaz „*SENOTHERM-Paint ES black*“

Za ispitivanje je korišten premaz „*SENOTHERM-Paint ES black*“. Proizvođač premaza je Weilburger, čije brend Senotherm je poznat po svojoj otpornosti na visoke temperature (do 600 °C), koristi se za zaštitu dimovoda, prostorija za sušenje mesa, roštilja, rešetki za roštilj. Ispitivanje je provedeno na 3 uzorka različitih dimenzija koji čine jedan dimovod. Na slici 13 prikazani su uzorci s nanesenim premazom „*SENOTHERM-Paint ES black*“.



**Slika 13.** Uzorci sa nanesenim zaštitnim premazom, Laboratorij za zaštitu materijala

## 7.2. Ispitivanje u vlažnoj komori

Uzorak broj 1 (najmanji uzorak) bio je izložen vlažnoj atmosferi u vlažnoj komori C&W Specialist Equipment Ltd., model AB6. Ispitivanje je bilo provedeno u trajanju od 240 sati prema normi HRN EN ISO 6270-2. Ispitivanje je bilo provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala. Uzorak broj 1 je bio izvrgnut vlažnoj i toploj atmosferi uz kondenziranje vode. Na slici 14 vidljiv je uzorak broj 1 unutar vlažne komore.



**Slika 14. Uzorak broj 1 u vlažnoj komori, Laboratorij za zaštitu materijala**

Na slici 15 prikazan je uzorak broj 1 nakon izloženosti vlažnoj komori. Na uzorku se pojavila točkasta korozija te je na nekoliko mjesta došlo do curenja iz točkaste korozije.

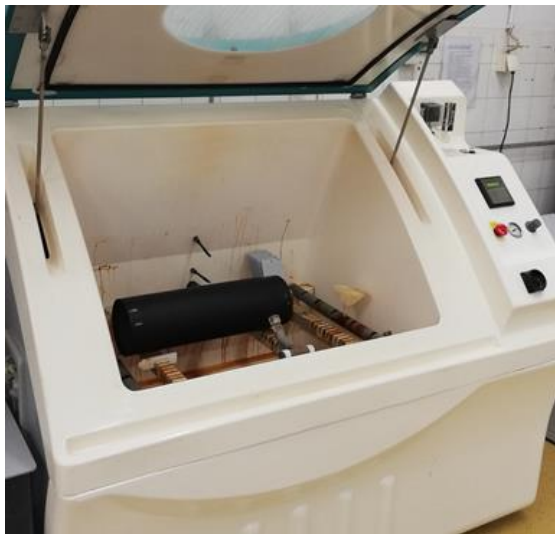


**Slika 15. Uzorak broj 1 nakon vlažne komore**



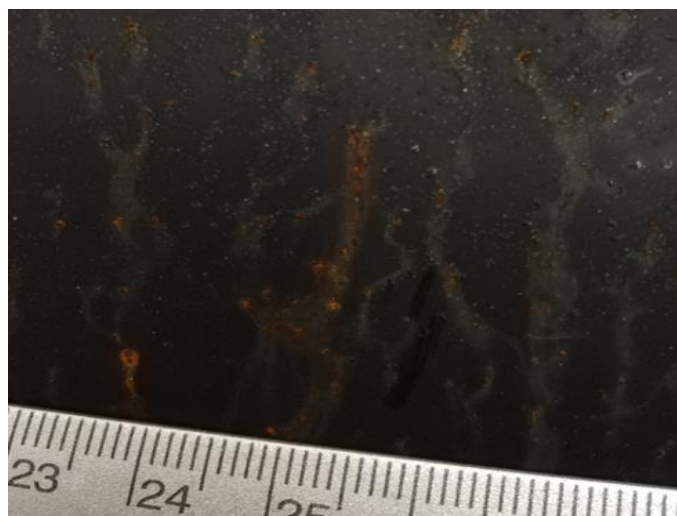
### 7.3. Ispitivanje u slanoj komori

Uzorak broj 3 (najveći uzorak) bio je izložen slanoj atmosferi u slanoj komori Ascott, model S450. Ispitivanje je bilo provedeno u trajanju od 480 sati prema normi HRN EN ISO 9227. Ispitivanje je bilo provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala. Slana komora simulira izlaganje morskoj atmosferi na način da razrijeđenu otopinu NaCl raspršuje u obliku magle na uzorak koji se ispituje. Na slici 16 prikazan je uzorak broj 3 unutar slane komore.



**Slika 16. Uzorak broj 3 unutar slane komore, Laboratorij za zaštitu materijala**

Na slici 17 prikazan je uzorak broj 3 nakon izloženosti slanoj komori. Na uzorku se pojavila točkasta korozija te je došlo do njezinog curenja. Zaključuje se da premaz nije postojan u morskoj atmosferi.



**Slika 17. Uzorak broj 3 nakon slane komore**



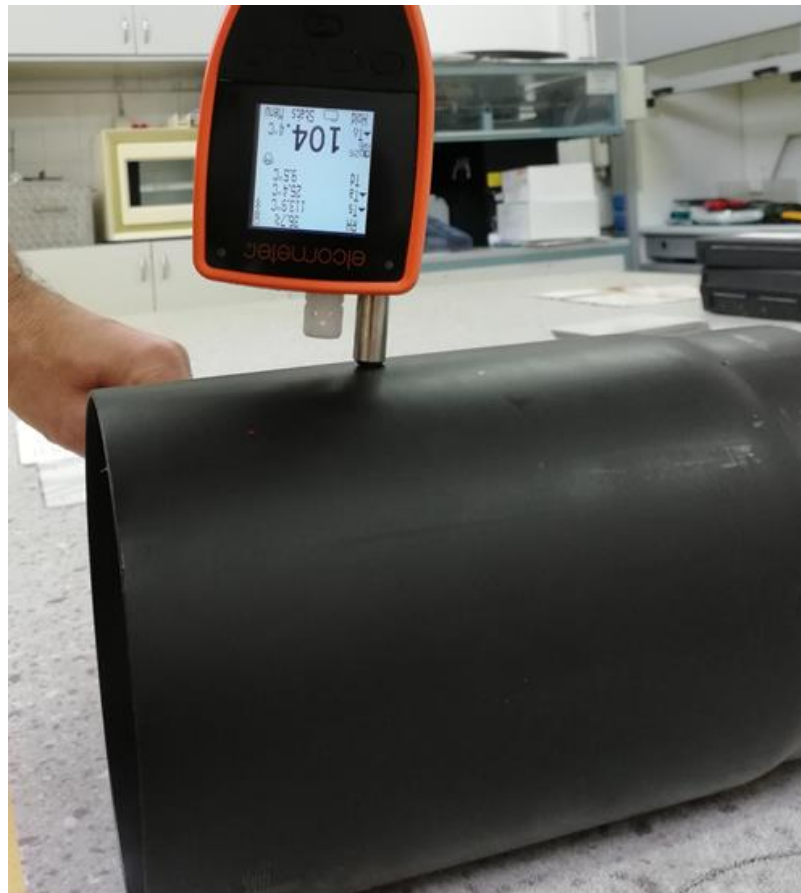
#### 7.4. Ispitivanje postojanosti na povišenoj temperaturi

Uzorak broj 2 (srednji uzorak) je bio izložen povišenoj temperaturi u peći. Ispitivanje je bilo provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala. Uzorak je bio ispitan na dvije temperature (100 °C, 130 °C), a najveća postignuta temperatura iznosila je 130 °C. Na slici 18 prikazan je uzorak broj 2 unutar peći.



Slika 18. Uzorak broj 2 unutar peći, Laboratorij za zaštitu materijala

Mjerenje temperature bilo je izvršeno pomoću uređaja „Elcometer 319“. Na slici 19 prikazan je uzorak broj 2 koji je zagrijan te tehnika mjerenja uređajem „Elcometer 319“.



**Slika 19. Uzorak broj 2 zagrijan te prikaz mjerenja temperature stijenske**

Vizualnim pregledom nisu utvrđena nikakva oštećenja kao što su mjehuranje ili bubrenje premaza kod izlaganja povišenim temperaturama (100 °C, 130 °C). Premaz je pogodan za zaštitu pri povišenim temperaturama.

## 7.5. Mjerenje debljine premaza

U Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje provedeno je ispitivanje debljine premaza uređajem "Elcometer 456" prikazan na slici 20 sukladno normi HRN EN ISO 2808. Na slici 21 je prikazan način mjerenja uređajem „Elcometer 456“. Izvršeno je 20 mjerenja po svakom ispitanom uzorku, a podaci o debljini premaza vidljivi su u tablici 4.



Slika 20. Uređaj za mjerenje debljine premaza „Elcometer 456“



Slika 21. Prikaz tehnike mjerenja pomoću „Elcometer 456“

Debljina filma ima velik utjecaj na kvalitetu premaza, ali i na proizvodne troškove. Ima direktan utjecaj na poroznost i postojanost premaza. Porastom debljine raste i korozivna postojanost premaza, ali prevelika debljina može dovesti do predugog sušenja, pucanja premaza i grešaka u filmu.

Tablica 4. prikazuje rezultate mjerenja provedenih prije eksperimenta.

**Tablica 4. Rezultati mjerenja debljine premaza provedeni prije eksperimenta**

	<b>Uzorak 1 (najmanji)</b>	<b>Uzorak 2</b>	<b>Uzorak 3 (najveći)</b>
<b>Broj mjerenja</b>	20	20	20
<b>Minimalna debljina premaza (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	5	7	3,2
<b>Maksimalna debljina premaza (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	19,8	15,2	13,8
<b>Srednja vrijednost (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	11,03	10,16	6,94
<b>Standardna devijacija (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	4,32	2,29	3,02

Izmjerene prosječne debljine premaza na ispitnim uzorcima iznose oko 10  $\mu\text{m}$ , što je relativno tanko i ukazuje na moguću primjenu ispitanih dimovodnih elemenata u zatvorenim prostorima.

## 7.6. Mjerenje debljine premaza nakon izlaganja korozivnim uvjetima i povišenoj temperaturi

Eksperimentalni dio se provodi na 3 različita načina te su tako i uzorci bili izloženi različitim atmosferskim uvjetima. Uzorak 1 bio je izložen vlažnoj komori te su prvi znaci korozije nastupili nakon 96 h. Uzorak 2 bio je izložen povišenoj temperaturi. Uzorak 3 je bio izložen slanoj komori do pojave prvih znakova korozije koji su se pojavili nakon 72h nakon što je uzorak bio izložen agresivnoj atmosferi slane komore. Po završetku ispitivanja ponovljeno je mjerenje debljine premaza.

U tablici 5 prikazan je podatak prosječne debljine premaza jer s obzirom da o tome ovise svojstva premaza.

**Tablica 5. Rezultati mjerenja debljine premaza nakon eksperimenta**

	<b>Uzorak 1</b>	<b>Uzorak 2</b>	<b>Uzorak 3</b>
<b>Srednja vrijednost (μm)</b>	10	9,5	5,5

Prosječna debljina premaza smanjila se otprilike za jedan mikrometar.

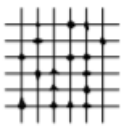
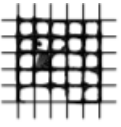
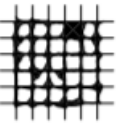
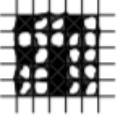
## 7.7. Ispitivanje prionjivosti premaza „Cross-cut“ testom

Jedna od osnovnih karakteristika svakog premaza je prionjivost na podlogu. Prionjivost premaza direktno utječe na kvalitetu njegovog zaštitnog djelovanja na površinu na koju je nanesen kao i na duljinu vijeka trajanja zaštite. Prionjivost se određuje urezivanjem mrežice (eng. Cross-cut) sukladno normi HRN EN ISO 2409:2013 [4].

Pomoću instrumenta ureže se u premaz 6 ureza vodoravno te 6 ureza horizontalno koji se križaju pod pravim kutom, čime se formira mrežica od 25 kvadratića. Urezivanje se obavlja jednolikom brzinom i urez mora doći do podloge, ali ne smije zagrebat duboko u nju. Urezi moraju biti jednoliki, a udaljenosti između njih ovisi o debljini premaza. Pošto je debljina premaza manja od 60  $\mu\text{m}$  uzima se razmak između ureza 1 mm.


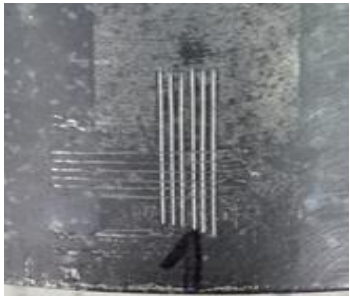
Nakon urezivanja radi se lagano četkanje mrežice, a zatim se na mrežicu zalijepi ljepljiva vrpca, koja se potom naglo odlijepi. Nakon toga slijedi usporedba mrežice sa standardnom skalom (tablica 6.) te ocjenjivanje prionjivosti premaza. Prema normi HRN EN ISO 2409:2013 ocjene 0, 1, 2, prionjivosti premaza zadovoljavaju.

**Tablica 6. Ocjenjivanje prionjivosti premaza**

Opis	HRN EN ISO 2409:2013	Slika primjera
Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut	0	-
Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5 % površine je oštećeno	1	
Dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici, 5 do 15 % površine je oštećeno	2	
Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15 do 35 % površine je oštećeno	3	
Premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni, 35 do 65 % površine je oštećeno	4	
Više od 65 % površine je oljušteno	5	-

U tablici 7. dan je prikaz rezultata ispitivanja prionjivosti premaza prije i nakon ispitivanja uzorka broj 1 u slanoj komori.


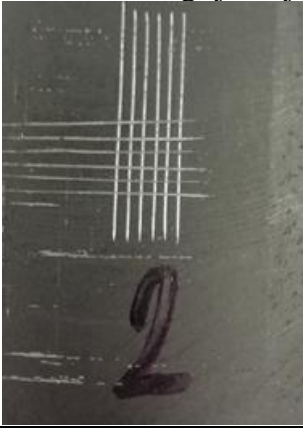

**Tablica 7. Rezultati ispitivanja za uzorak 1**

Izgled uzorka 1	Ocjena prionjivosti (HRN EN ISO 2409)
<p data-bbox="288 414 735 450">Izgled uzorka 1 prije eksperimenta</p> 	<p data-bbox="1059 517 1177 553">Ocjena 2</p> <p data-bbox="868 553 1369 622">Dio premaza je oljušten na sjecištima i rubovima</p>
<p data-bbox="240 698 778 768">Izgled uzorka 1 nakon izloženosti vlažnoj komori 240 h</p> 	<p data-bbox="1059 846 1177 882">Ocjena 1</p> <p data-bbox="916 882 1321 952">Mali dio premaza je oljušten na sjecištima u mrežici</p>

Nakon 240 h ispitivanja u vlažnoj komori nije došlo do gubitka prionjivosti premaza.

U tablici 8. dan je prikaz ispitivanja prionjivosti premaza prije i nakon ispitivanja uzorka broj 2 pri povišenoj temperaturi.

**Tablica 8. Rezultati ispitivanja na uzorak 2**

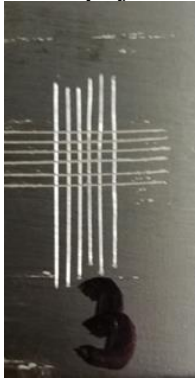

Izgled uzorka 2	Ocjena prionjivosti (HRN EN ISO 2409)
<p>Izgled uzorka 2 prije eksperimenta</p> 	<p>Ocjena 1 Mali dio premaza je oljušten na sjecištima u mrežici</p>
<p>Izgled uzorka 2 nakon zagrijavanja na 100 °C</p> 	<p>Ocjena 1 Mali dio premaza je oljušten na sjecištima u mrežici</p>
<p>Izgled uzorka 2 nakon zagrijavanja na 130 °C</p> 	<p>Ocjena 1 Mali dio premaza je oljušten na sjecištima u mrežici</p>

Izlaganjem uzorka broj 2 povišenoj temperaturi nije dovelo do gubitka prionjivosti premaza.



U tablici 9. prikazani su rezultati ispitivanja prionjivosti premaza prije i nakon ispitivanja uzorka broj 3 u slanoj komori.

**Tablica 9. Rezultati ispitivanja na uzorka 3**

Izgled uzorka 3	Ocjena prionjivosti (HRN EN ISO 2409)
<p>Izgled uzorka 3 prije eksperimenta</p> 	<p>Ocjena 0 Na premazu nisu vidljiva nikakva oštećenja, rezovi su potpuno čisti</p>
<p>Izgled uzorka 3 nakon izloženosti slanoj komori na 480 h</p> 	<p>Ocjena 3 Dio premaza je oljušten na sjecištima i rubovima</p>

Nakon ispitivanja uzorka broj 3 u slanoj komori došlo je do gubitka prionjivosti premaza.

## 7.8. Ispitivanje tvrdoće premaza

Ispitivanje tvrdoće premaza za zaštitu dimovoda provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, sukladno normi HRN EN ISO 15184:2013. Oprema za mjerenje sastoji se od olovaka različitih tvrdoća mina u rasponu od 6H (najtvrđa mina koja se nalazi u opremi) do 6B (najmekša mina koja se nalazi u opremi za mjerenje tvrdoće) zajedno s držačem koji omogućuje da se olovka drži pod kutom od  $45^\circ$  u odnosu na površinu, te njeno konstantno opterećenje. Pribor za mjerenje tvrdoće premaza prikazan je na slici 22.



**Slika 22. Pribor za mjerenje tvrdoće premaza**

Ispitivanje se provodi na način da se počinje uporabom olovke najveće tvrdoće (6H) i nastavlja se prema mekšima (6B). Prva olovka koja ne ostavi trag na površini premazanog dijela koji ispituje se označava tvrdoću prevlake. Način provođenja ispitivanja tvrdoće vidljiv je na slici 23.



**Slika 23. Način provođenja ispitivanja tvrdoće**

Ispitivanje je provedeno samo na najvećem uzorku odnosno uzorku 3 jer su sva tri uzorka premazani istim premazom te zbog svoje veličine i oblika ostala dva uzorka nisu bila prikladna za ispitivanje. Rezultati dobiveni prije i poslije ispitivanja dani su u tablici 10.

**Tablica 10. Rezultati mjerenja prije i poslije ispitivanja na povišenoj temperaturi od 130 °C**

<b>Mjerenja prije eksperimenata</b>	
	<b>OCJENA TVRDOĆE PREMAZA SUKLADNO HRN EN ISO 15184:2013</b>
<b>Uzorak 1</b>	HB
<b>Uzorak 2</b>	HB
<b>Uzorak 3</b>	HB
<b>Mjerenja poslije eksperimenata</b>	
<b>Uzorak 2</b>	2B

Po normi HRN EN ISO 15184:2013, prevlake kod kojih mine od 6H do 3H ne ostavljaju trag smatraju se tvrdim premazima, od 2H do 2B se smatraju srednje tvrdi premazima, a od 3B do 6B smatraju se mekim premazima. Iz provedenog ispitivanja je vidljivo da premaz spada u srednje tvrde premaze. Nakon izlaganja povišenim temperaturama došlo je do mekšanja premaza, ali još uvijek premaz spada u istu skupinu tvrdoće.

## 8. ZAKLJUČAK

Korozija stvara velike poteškoće u svim granama industrije te uzrokuje velike gubitke koji se nastoje izbjeći rješenjima kojima bi se smanjila vjerojatnost za pojavu korozije. Pod povećanim rizikom od pojave korozije jesu industrije koje se nalaze u agresivnijoj atmosferi ili gdje se primjenjuju dimovodi u kojima se stvaraju povišene temperature i odvode ispušni plinovi. Korozija može imati katastrofalne učinke na dimovode što može dovesti do njihovog urušavanja te time može ugroziti ljudske živote, ali dovesti i do ekološke katastrofe. U svrhu sprječavanja spomenutih ishoda koriste se različiti premazi kojima je cilj zaštititi dimovod od katastrofalnog utjecaja korozije te usporiti napredovanje same korozije. Takvi premazi podnose visoke temperature i štite materijal od agresivnih ispušnih plinova koji dovode do ubrzanog korodiranja dimovoda.

U eksperimentalnom dijelu ovoga rada provedena su ispitivanja tvrdoće, debljine i prionjivosti na uzorcima dimovoda koji su bili izloženi različitim atmosferskim uvjetima. Ispitivanjem debljine premaza utvrđeno je da gotovo ne dolazi do smanjenja debljine premaza djelovanjem agresivnih medija (vlaga, slana atmosfera te povišena temperatura).

Ispitivanjem prionjivosti utvrđeno je da se ispitivani zaštitni premaz može koristiti u vlažnim uvjetima jer su ocjene prionjivosti, prije i nakon eksperimenta u vlažnoj komori, zadovoljavajuće.

Ispitivanjem prionjivosti na povišenim temperaturama nije došlo do promjene prionjivosti premaza, stoga je zaštitni premaz pogodan za uporabu pri povišenim temperaturama.

Prionjivost uzoraka je prije izloženosti atmosferi u slanoj komori bila zadovoljavajuća. Na uzorku koji je bio izložen slanim uvjetima prionjivost se smanjila te premaz nije pogodan za korištenje u morskoj atmosferi.

## LITERATURA

- [1] Juraga, I., Alar, V., Stojanović, I.: *Korozija i zaštita premazima*, FSB, Zagreb, 2014.
- [2] Mainier, F. B., Monteiro, L. P., Merçon, F., Guimarães, P. I. C., Mainier, R. J.: *Teaching of corrosion based on critical evaluation of urban furniture of a public square*. IOSR Journal of Research & Method in Education, 3, 13-19 (2013.)
- [3] Zarras, P., Stenger-Smith, J. D.: *Corrosion processes and strategies for prevention: an introduction*. *Handbook of Smart Coatings for Materials Protection*, 3–28. (2014.)
- [4] Syed, P.S., Shoba.U.S.: *Engineering Chemistry - II.*, (2014.)
- [5] Esih I. , Dugi Z.: *Osnove površinske zaštite*, FSB Zagreb, 2003.
- [6] Ahmad, Z.: *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*, COATINGS 382-437. (2006.) doi:10.1016/b978-075065924-6/50008-8
- [7] Liyang Kangdawei Industrial Co.: *Anti-corrosion Coating of Chimney* <<http://chinakdw.com/en/product/chimney-anti-corrosion-spray-coating/>> (pristupljeno 8.9.2020.)
- [8] Mevrel, R.: *State of the Art on High-temperature Corrosion-resistant Coatings*. Materials Science and Engineering, (120) 13-24 (1989.)
- [9] <https://www.coating-additives.com/product/coating-additives/downloads/silicone-resins.pdf> (pristupljeno 24.8.2020.)
- [10] Heilen, W., Herrwerth, S.: *Silicone Resins and their Combinations*, Vincentz Network, Hanover, Germany, 2015
- [11] Philip, A. Schweitzer, P.E.: *Paint and Coatings Applications and Corrosion Resistance*, 2006
- [12] SIKA SERVICES AG: *Refurbishment concrete repair and protection of chimneys and cooling towers*, 2014. <[https://idn.sika.com/dms/getdocument.get/5e3d213d-6417-372c-8c0c-9eb67e1945da/brochure\\_design\\_support\\_concrep\\_chimneys\\_cooling\\_towers\\_en.pdf](https://idn.sika.com/dms/getdocument.get/5e3d213d-6417-372c-8c0c-9eb67e1945da/brochure_design_support_concrep_chimneys_cooling_towers_en.pdf)> (pristupljeno 28.8.2020.)
- [13] Mazeika, L.: *Stack corrosion: A serious problem* (2009.) <[http://www.3l-t.com/images/3L\\_T\\_Stacks\\_May\\_09.pdf](http://www.3l-t.com/images/3L_T_Stacks_May_09.pdf) > (pristupljeno 28.8.2020.)
- [14] <http://www.wholesale-tankless.com/images/Vertical%20Vent.jpg> (preuzeto 28.8.2020.)
- [15] [https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-ignition-temperatures-d\\_171.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-ignition-temperatures-d_171.html) (pristupljeno 24.8.2020.)

[16] <https://www.elgas.com.au/blog/453-the-science-a-properties-of-lpg>

(pristupljeno 24.8.2020.)

[17] <https://www.indiamart.com/proddetail/chimneys-heat-resistant-paint-2033689948.html>

(pristupljeno 8.9.2020.)

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc