

# Zaštitna svojstva epoksidnih prevlaka na čeliku u alkalnim otopinama

---

**Bosec, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2012**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:884604>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tomislav Bosec**

Zagreb, 2012. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Dr. sc. Vesna Alar, izv. prof.

Student:

Tomislav Bosec

Zagreb, 2012. godina

## **Izjava**

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

## **Zahvala**

Zahvaljujem se svojoj mentorici dr. sc. Vesni Alar na savjetima i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Srdačno se zahvaljujem dr. sc. Ivanu Stojanoviću, višem asistentu kao i svim drugim djelatnicima na Katedri za zaštitu materijala.

Rado bih se zahvalio i djelatnicima tvrtke „KONČAR Sklopna postrojenja“, a posebno gospodina Bernardu uz čiju sam pomoć izradio uzorke za ispitivanje.

Također se zahvaljujem višoj asistentici na Građevinskom fakultetu dr. sc. Marijani Serdar na izrazito velikom entuzijazmu i pomoći kod provođenja elektrokemijskih ispitivanja.

Veliko hvala mojim roditeljima i djevojci Marini na pruženoj podršci za vrijeme studija.

---

Tomislav Bosec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne  
simulacije

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA I KRATICA .....	V
SAŽETAK.....	VI
1. UVOD.....	1
2. KLASIFIKACIJA KOROZIJSKIH PROCESA.....	3
2.1. Korozija prema mehanizmu djelovanja .....	3
2.1.1. Kemijska korozija .....	4
2.1.2. Elektrokemijska korozija .....	4
2.2. Vrste korozije prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja .....	5
2.2.1. Opća korozija .....	5
2.2.2. Lokalna korozija .....	6
2.2.3. Selektivna korozija.....	9
2.2.4. Interkristalna korozija .....	10
3. ZAŠTITA OD KOROZIJE.....	11
3.1. Elektrokemijska metoda zaštite .....	11
3.2. Zaštita metala obradom korozijske sredine.....	11
3.3. Konstrukcijsko tehnološke mjere.....	12
3.4. Zaštita prevlačenjem .....	12
4. ORGANSKE PREVLAKE.....	13
4.1. Organski premazi .....	13
4.1.1. Komponente organskih premaza.....	14
4.1.2. Nanošenje organskih premaza .....	16
4.1.3. Sušenje organskih premaza.....	18
4.2. Plastifikacija.....	21
4.2.1. Metode plastifikacije.....	21
4.3. Gumiranje.....	23
4.4. Bitumenizacija .....	23
4.5. Konzervacija .....	24
5. ELEKTROSTATSKO NAPRAŠIVANJE .....	27
5.1. Priprema površine kemijskom predobradom .....	28
5.2. Nanošenje poliesterskog praha.....	29
5.3. Polimerizacija poliesterskog praha .....	32
5.4. Ekonomske prednosti .....	33
6. OPREMA ZA ELEKTROSTATSKO NAPRAŠIVANJE .....	34
6.1. Dobavljač praha .....	34
6.1.1. Karakteristike rada dobavljača praha.....	36
6.1.2. Crijeva za transport praha .....	36
6.2. Pištolj za elektrostatsko naprašivanje .....	37

6.2.1.	Pištolji s unutarnjim i vanjskim elektrostatskim nabijanjem .....	37
6.2.2.	Pištolji s unutarnjim nabijanjem .....	38
6.2.3.	Pištolji s triboelektričnim nabijanjem .....	38
6.2.4.	Unutarnji u odnosu na vanjski izvor napajanja.....	39
6.2.5.	Iskustva iz prakse .....	39
6.2.6.	Ručni pištolj za nanošenje praha PG 1 (Koristi se u „KONČAR Sklopna postrojenja“.....)	41
6.3.	Komora za naprašivanje i sustavi za skupljanje viška praha .....	44
6.3.1.	Gravitacijska komora s ciklonskim skupljanjem viška praha.....	45
6.3.2.	Komore za brzu promjenu praha s ciklonskim skupljanjem.....	45
6.3.3.	Komore za horizontalno pokrivanje prahom .....	46
6.3.4.	Komore s trakom.....	46
6.3.5.	Komore s lančanim konvejerom .....	47
6.3.6.	Komore sa straničnim tokom .....	47
6.3.7.	Komore sa sustavom za sakupljanje praha .....	48
6.4.	Sustavi za skupljanje praha .....	48
6.4.1.	Filter-ulošci s otvorenim kolektorom.....	48
6.4.2.	Mehanizam za pulsno preokretanje zračnog toka .....	49
6.4.3.	Držači filter-uloška .....	49
6.5.	Promjena praha .....	50
6.6.	Peći za pečenje nanešenog praha .....	51
6.6.1.	Predgrijavanje .....	51
6.6.2.	Završno pečenje .....	51
6.6.3.	Razmatranja vezana za proces i izbor peći .....	52
6.6.4.	Metode pečenja .....	52
6.6.5.	Atmosfera unutar peći.....	53
6.6.6.	Sigurnost .....	53
6.7.	Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS) .....	54
6.7.1.	Uvod u elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju .....	54
6.7.2.	Teorijske osnove EIS-a .....	54
6.7.3.	Analiza impedancijskih odziva .....	57
6.7.4.	Impedancija međufazne granice elektroda/elektrolit .....	60
7.	EKSPERIMENTALNI RAD.....	62
7.1.	Mjerenje debljine sloja premaza .....	63
7.2.	Ispitivanje u vlažnoj komori .....	66
7.3.	Ispitivanje u slanoj komori.....	69
7.4.	Ispitivanje prionjivosti .....	72
7.5.	Ispitivanje elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom.....	77
7.6.	Analiza rezultata .....	79
8.	ZAKLJUČAK.....	80
9.	LITERATURA .....	81

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Prikaz energetske promjene pri dobivanju i koroziji metala [1] .....	2
Slika 2.	Klasifikacija korozijskih procesa [3].....	3
Slika 3.	Opća korozija: (a) ravnomjerna, (b) neravnomjerna; A-površina materijala prije korozije, B-površina materijala nakon korozije, M-materijal [3] .....	5
Slika 4.	Razaranja materijala pjegastom korozijom [3] .....	6
Slika 5.	Oblik rupica kod rupičaste korozije [3].....	7
Slika 6.	Bubrenje i listanje materijala kod potpovršinske korozije [3] .....	7
Slika 7.	Galvanska korozija [5] .....	8
Slika 8.	Korozija u procjepu [6] .....	9
Slika 9.	Decinkacija mjedi (lijevo) i grafitizacija sivog lijeva (sredina i desno) [3].....	9
Slika 10.	Runjenje zrna u mediju te raspad uz zavar [3] .....	10
Slika 11.	Prikazuje kade za tehnološki proces kemijske predobrade usmjeren na slici s desna na lijevo u tvrtki „KONČAR Sklopna postrojenja“ [10] .....	29
Slika 12.	Prikaz elektrostatskog nanošenja praha [11] .....	31
Slika 13.	Ulazak obradaka u peć [10].....	32
Slika 14.	Prikaz principa rada dobavljača praha [9].....	34
Slika 15.	Prikaz dva osnovna tipa dobavljača praha, gravitacijski-gore lijevo i fluidizirajući gore-desno [8].....	35
Slika 16.	Sastavni dijelovi ručnog pištolja za nanošenje praha [9].....	41
Slika 17.	Prikaz različitih nastavaka za raspršivanje praha [9] .....	42
Slika 18.	Prikazuje stvaranje visokog napona u pištolju [9].....	43
Slika 19.	Komora sa integriranim sustavim za izmjenu praha [8].....	44
Slika 20.	Komora za brzu promjenu praha [8] .....	46
Slika 21.	Shematski prikaz komore s pokretnom trakom [8] .....	47
Slika 22.	Prikaz presjeka Filter-uloška s otvorenim kolektorom [8].....	49
Slika 23.	AC val za narinuti potencijal, E i rezultirajuću struju, I.....	55
Slika 24.	Vektor $ I $ opisan, realnom $I'$ i imaginarnom $I''$ koordinatom.....	55
Slika 25.	Nyquistov prikaz ekvivalentnog kruga sastavljenog od otpornika .....	58
Slika 26.	Nyquistov prikaz ekvivalentnog kruga sastavljenog od kondenzatora .....	59
Slika 27.	Nyquistov prikaz ekvivalentnog kruga sastavljenog od paralelne kombinacije otpornika i kondenzatora .....	59
Slika 28.	Nyquistov (a) i Bodeov (b) dijagram za reakciju pod kontrolom prijenosa naboja .....	60
Slika 29.	Ekvivalentni krug za jednostavan elektrokemijski sustav.....	61
Slika 30.	Prikaz elektrostatskog nanošenja praha na uzorak za ispitivanje u slanoj i vlažnoj komori [10].....	62
Slika 31.	Mjerenje debljine sloja epoksidne prevlake uređajem „elcometer 456“ [10] .....	63
Slika 32.	Uzorci različitih epoksidnih prevlaka u vlažnoj komori [10].....	66
Slika 33.	Slana komora Ascott, model S450 sa ispitnim uzorcima [10] .....	69
Slika 34.	Usporedni prikaz Nyquistovih dijagrama za ispitane uzorke [10] .....	77
Slika 35.	Dijagrami elektrokemijskog (korozijskog) potencijala ovisno o vremenu .....	78



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Važniji postupci nanošenja organskih prevlaka [4] .....	26
Tablica 2. Usporedba svojstva i karakteristika najkorištenijih prevlaka [9] .....	30
Tablica 3. Elementi ekvivalentnog kruga i pripadajuće impedancijske relacije .....	57
Tablica 4. Debljine praškaste epoksidne prevlake A .....	64
Tablica 5. Debljine praškaste epoksidne prevlake B.....	65
Tablica 6. Debljine praškaste epoksidne prevlake C.....	65
Tablica 7. Debljine praškaste epoksidne prevlake D .....	65
Tablica 8. Usporedba epoksidne prevlake prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori .....	67
Tablica 9. Parametri ispitivanja u slanoj komori.....	69
Tablica 10. Usporedba epoksidne prevlake prije i nakon ispitivanja u slanoj komori.....	70
Tablica 11. Prikaz ispitivanja prionjivosti epoksidne prevlake prema redosljedu rada .....	72
Tablica 12. Ocjenjivanje prionjivosti premaza.....	73
Tablica 13. Ocjene prionjivosti prije ispitivanja u komorama .....	74
Tablica 14. Ocjene prionjivosti nakon ispitivanja u vlažnoj komori .....	75
Tablica 15. Ocjene prionjivosti nakon ispitivanja u slanoj komori.....	76
Tablica 16. Rezultati EIS ispitivanja praškastih epoksidnih prevlaka .....	78

## POPIS OZNAKA I KRATICA

$A_I$  - maksimalna amplituda struje

$A_E$  - maksimalna amplituda potencijala

$E$  - potencijal, V

$F$  - Faradayeva konstanta,  $F = 96500 \text{ C mol}^{-1}$

$f$  - frekvencija, Hz

$I$  - struja, A

$I(t)$  - trenutna struja, A

$R$  - otpor,  $\Omega$

$R$  - opća plinska konstanta,  $R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$T$  - temperatura, K

$t$  - vrijeme, s

$Z$  - impedancija,  $\Omega$

$Z'$  - realna komponenta impedancije,  $\Omega$

$Z''$  - imaginarna komponenta impedancije,  $\Omega$

$|Z|$  - apsolutna vrijednost impedancije,  $\Omega$

$Z$  - broj izmijenjenih elektrona

$\omega$  - frekvencija u  $\text{rad s}^{-1}$  ( $\omega = 2\pi f$ )

$\theta$  - fazni pomak, rad

PE – poliesterski prah

TGIC – TriGlycidylIsoCyanurat

EIS – Elektrokemijska impedancijska spektroskopija

AC – izmjenična struja

DC – istosmjerna struja

## SAŽETAK

Diplomski rad sastoji se od teorijskog i eksperimentalnog dijela.

Teorijski dio sačinjava klasifikacija korozijskog djelovanja i prikaz osnovnih smjernica u zaštiti s naglaskom na organske prevlake koje danas čine veliki udio u cjelokupnoj zaštiti materijala od korozije te se najčešće primjenjuju.

Plastifikacija spada u skupinu organskih prevlaka, koje se na površinu mogu nanjeti različitim metodama. Jedna od tih metoda je i elektrostatsko naprašivanje.

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su ispitivanja sa ciljem utvrđivanja zaštitnih svojstava praškastih epoksidnih prevlaka koje su nanosene na uzorke od niskougljičnog čelika. Uzorci su prije toga kemijski predobrađeni te je na njih nanosena fosfatna prevlaka. Priprema uzoraka provedena je u tvrtki „KONČAR Sklopna postrojenja“ dok su ispitivanja (mjerjenje debljine, ispitivanje prionjivosti te ispitivanje u slanoj i vlažnoj komori) provedena u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB-a. Elektrokemijsko ispitivanje elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom (EIS) provedeno je u laboratoriju na Zavodu za materijale na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

## 1. UVOD

«Korozija je nenamjerno razaranje konstrukcijskih materijala, uzrokovano fizikalnim, kemijskim i biološkim utjecajima» [1].

Prema ovoj (jednoj od) definiciji korozije korodirati mogu ne samo metali nego i drugi materijali kao što su keramika, staklo, polimerni materijali i beton. Međutim, kad se govori o koroziji, a ne spominje se posebno materijal misli se na koroziju metala. Razlog zašto se korozija metala tretira posebno je njegoa električna vodljivost i stoga je obično njihova korozija elektrokemijske prirode.

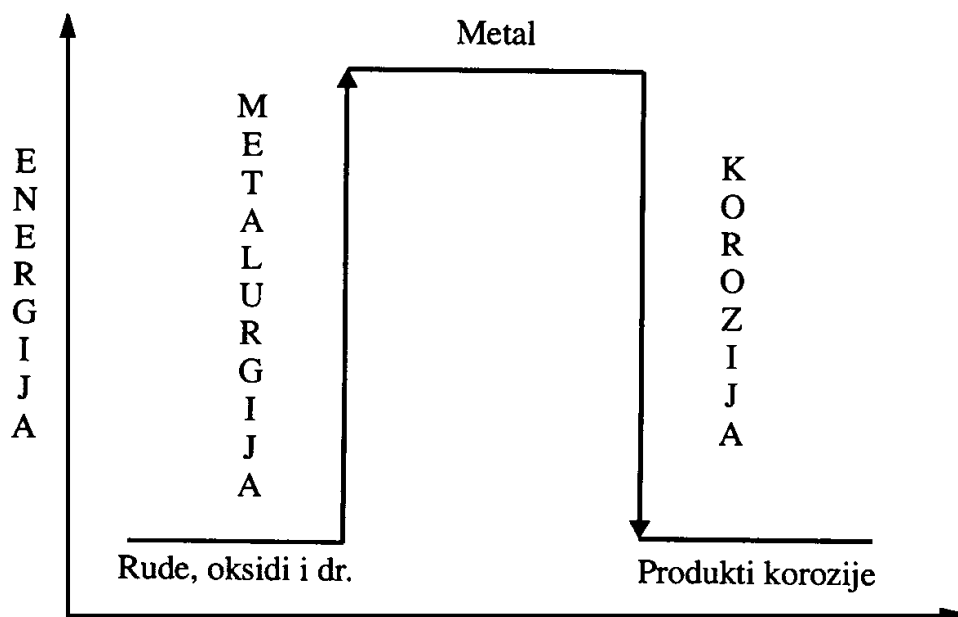
U današnje vrijeme puno više pažnje potrebno je posvetiti koroziji metala nego u prošlosti zbog:

- povećane upotrebe metala,
- upotrebe sve tanjih dimenzija konstrukcijskih metala koji imaju smanjenu toleranciju na koroziju,
- upotrebe metala za specijalne primjene (područje atomske energije, raketni sustavi itd.),
- pojačane korozivnosti okoliša zbog zagađenja.

U visoko industrijaliziranim zemljama provedeno je istraživanje koje govori o podatku da godišnji troškovi zbog korozije metala u SAD-u, uključujući i mjere za zaštitu od korozije iznose do 1000 dolara po stanovniku. Prema statistici švedskog instituta za koroziju, od korozije je tijekom 33 godine propalo 44% ukupno proizvedenog željeza. Ovim podacima nije obuhvaćena sekundarna šteta nastala zbog korozije kao što su npr. nesreće, ugroženost zdravlja, gubici u proizvodnji, veoma teške ekološke katastrofe, propadanje spomenika te različitih vrsta infrastrukture. Podatak od posljednjeg opsežnog istraživanja provedenog u SAD-u u razdoblju od 1999.-2001. godine govori da godišnji troškovi zbog korozije iznose oko 275 milijardi dolara što je nešto više od 3% bruto nacionalnog dohotka SAD-a [1].

Sredstva koja su dodijeljena u svrhu istraživanja, razvoja i obrazovanja kadrova na području korozije nemaju samo ekonomsku računicu nego mogu spasiti i ljudske živote.

Korozija je spontan proces koji se ne može spriječiti već se može samo usporiti. Sastoji se od skupa kemijskih i elektrokemijskih promjena tijekom kojih metal prelazi iz elementarnog stanja u spojeve, zapravo teži stanju u kojem se najčešće nalazi u prirodi. Svakoj vrsti metala dodijeljena je mnogobrojnim procesima visoka energija, a prirodna težnja metala je da se oslobodi energije te prijeđe u stanje niže energije što prikazuje slika 1. Upravo to smanjivanje energije je pokretačka sila procesa korozije.



Slika 1. Prikaz energetske promjene pri dobivanju i koroziji metala [1]

Iz svega navedenog može se zaključiti da je proces korozije ireverzibilan proces, suprotan proizvodnji metala iz ruda.

Postoje metali izrazito niske energetske razine i na taj način odolijevaju prirodnom okolišu i uopće se ne mijenjaju. Pojava u obliku samorodnih metala ukazuje na postojanost platine i zlata prema koroziji.

## 2. KLASIFIKACIJA KOROZIJSKIH PROCESA

Korozijske procese možemo klasificirati u 3 grupe: prema mehanizmu djelovanja, prema ovisnosti o agresivnom mediju i prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja. Na slici 2. shematski je dana podjela korozijskih procesa.



Slika 2. Klasifikacija korozijskih procesa [3]

### 2.1. Korozija prema mehanizmu djelovanja

Prema mehanizmu djelovanja korozija se dijeli na:

- kemijsku (u neelektrolitima) i
- elektrokemijsku (u elektrolitima).

Najrašireniji štetni proces ove vrste je korozija koja kemijskim međudjelovanjem materijala i medija razara materijal.

### 2.1.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija nastaje djelovanjem agresivnog kemijskog elementa na površinu materijala, a zbiva se u neelektrolitima, tj. u medijima koji ne provode električnu struju. Kemijska korozija prepoznaje se po vanjskoj promjeni izgleda i pojavi opne na površini metala. U kemijsku koroziju spada tzv. plinska korozija uzrokovana plinovima izgaranja na visokim temperaturama. Najčešće se pojavljuje kod ventila i u ispušnim cijevima motora broda, te kod toplinske obrade čelika (zavarivanju, toplinskoj obradi itd.) i pri radu uređaja na visokim temperaturama, gdje se korozijski oksidni produkt pojavljuje u obliku okujine. Drugi oblik kemijske korozije nastaje u tekućim neelektrolitima kao što su organske tekućine i otopine raznih supstanci u njima (npr. razaranje metala u nafti pod utjecajem S ili njegovih spojeva) [2].

### 2.1.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija javlja se na metalima i legurama u dodiru s elektrolitima kao što su voda i vodene otopine kiselina, lužina i soli, pri čemu se odvijaju reakcije oksidacije i redukcije. Oksidacija je reakcija kojom neka tvar ili skupina tvari (reducens) oslobađa elektrone, pri čemu nastaje druga tvar ili skupina tvari. Redukcija je reakcija kojom neka tvar ili skupina tvari (oksidans) veže elektrone, pri čemu nastaje druga tvar ili skupina tvari [2].

Procesi koji prate elektrokemijsku koroziju su:

- anodni proces i
- katodni proces.

Područje gubitka elektrona (oksidacije) naziva se anoda, a područje primanja elektrona (redukcije) naziva se katoda.

Anodni proces (oksidacija ili ionizacija metala) je proces pri kojem element otpušta elektrone i postaje pozitivno nabijeni ion (+) kation. Kod anodnog procesa jednostavno se stvaraju metalni kationi, dok katodnih procesa ima više [4].

Katodni proces (redukcija) je proces pri kojem element prima otpuštene elektrone iz anodne reakcije i postaje negativno nabijeni ion (-) anion ili neutralan element (vodikova ili kisikova depolarizacija).

## 2.2. Vrste korozije prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja

Vrste korozije prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja mogu biti:

1. Opća korozija
2. Lokalna korozija
  - a) pjegasta korozija
  - b) rupičasta korozija (pitting)
  - c) potpovršinska korozija
  - d) kontaktna korozija
    - galvanska korozija
    - korozija u procjepu
3. Selektivna korozija
4. Interkristalna korozija

U praksi se više oblika korozije može pojaviti istodobno. Tako se npr. uz pitting pod određenim okolnostima pojavljuju opća i/ili pjegasta korozija. Osobite pojave korozije zapažaju se ispod zaštitnih prevlaka ili na mjestima njihova oštećenja.

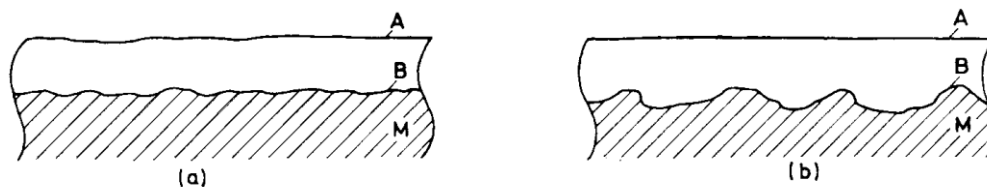
### 2.2.1. Opća korozija

Opća korozija karakterizira se kao korozija s ravnomjernim smanjenjem debljine metala. Ona zahvaća čitavu izloženu površinu materijala, a može biti:

- ravnomjerna
- neravnomjerna.

Ravnomjerna opća korozija je najmanje opasna jer se proces može lako pratiti i predvidjeti kada određeni dio treba popraviti ili ga zamijeniti novim. Neravnomjerna opća korozija opasnija je od ravnomjerne opće korozije. Na slici 3. prikazano je razaranje stijenke materijala ravnomjernom i neravnomjernom općom korozijom.

Do opće korozije dolazi kada je čitava površina materijala izložena agresivnoj sredini pod približno jednakim uvjetima s obzirom na unutrašnje i vanjske faktore korozije. Ova vrsta korozije najčešća je na velikim ploham (limovima).



Slika 3. Opća korozija: (a) ravnomjerna, (b) neravnomjerna; A-površina materijala prije korozije, B-površina materijala nakon korozije, M-materijal [3]



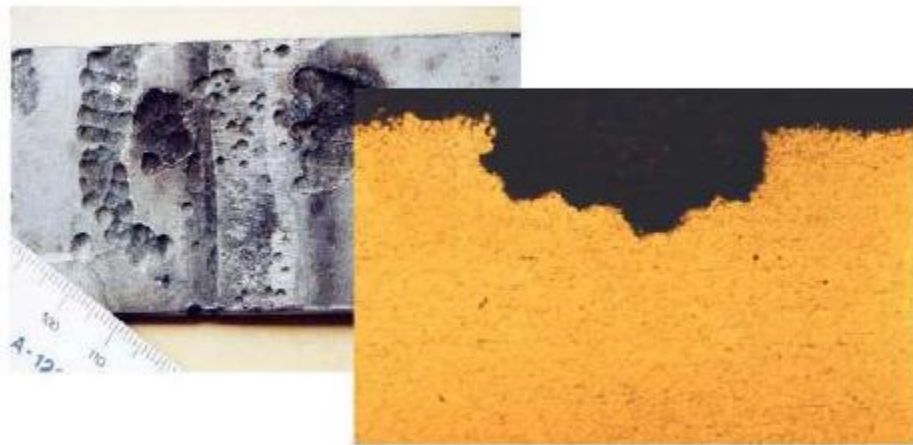
### 2.2.2. Lokalna korozija

Lokalna korozija nastaje na mikroskopskoj razini i djeluje ubrzano na samo malom lokalnom području. Zbog nedostatka kisika u području korozije, korozija prodire dublje u metal stvarajući tako rupice u materijalu.

Lokalna korozija može se podijeliti na:

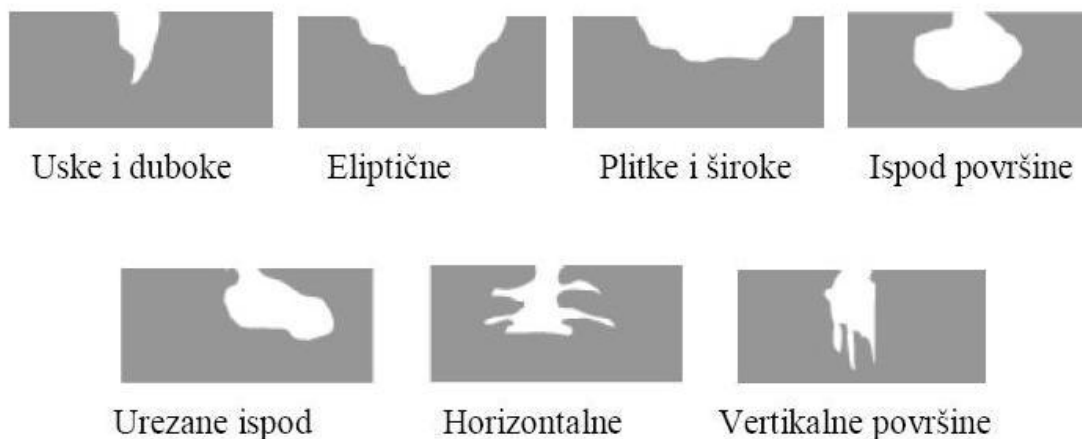
- pjegastu koroziju
- rupičastu ili pitting koroziju
- potpovršinsku koroziju i
- kontaktnu koroziju.

*Pjegasta korozija je najraširenija pojava lokalne korozije i napada samo neke dijelove izložene površine materijala, (slika 4.)*



Slika 4. Razaranja materijala pjegastom korozijom [3]

**Rupičasta ili pitting korozija** je korozija kod koje nastaju rupičasta oštećenja tj. šupljine koje se protežu od površine u metal. Rupičasta korozija nastaje kada postoji velika katodna i mala anodna površina, zbog čega je jačina napada anode velika. Razlike u potencijalu mogu biti uzrokovane mehaničkim oštećenjem površine, tankom prevlakom oksida, kiselim džepovima vode, korozijom zbog soli, rupica ili pukotina, ulja, plinova i djelomične uronjenosti metala. To je vrlo opasan oblik korozije, čija se brzina općenito povećava sa rastom temperature. Ocjena stanja površine se provodi proučavanjem gustoće rupica, veličine rupica i dubine rupica. Na slici 5. su prikazani oblici rupica kod rupičaste korozije prema normi ASTM G-46.



**Slika 5. Oblik rupica kod rupičaste korozije [3]**

**Potpovršinska korozija** je korozija gdje se žarište pittinga širi u dubinu materijala raslojavajući ga (listanje). Potpovršinska korozija je najraširenija na valjanim metalima u dodiru s morskom vodom i s kiselinama. Na površini materijala često nastaju mjehuri jer se u njegovoj unutrašnjosti gomilaju čvrsti korozijski produkti kojima je volumen veći od volumena uništenog metala. Pojavu potpovršinske korozije treba razlikovati od pukotina koje u materijalu nastaju uslijed napetosne korozije, korozijskog zamora ili vodikove bolesti koja se pojavljuje zbog prodiranja vodika u metal. Na slici 6. dan je primjer potpovršinske korozije (bubrenje i listanje ispod premaza).



**Slika 6. Bubrenje i listanje materijala kod potpovršinske korozije [3]**

**Kontaktna korozija** dijeli se na:

- galvansku koroziju i
- koroziju u procjepu.

Galvanska korozija nastaje kada se dva različita metala dovedu u električni kontakt, uz prisutnost elektrolita, pri čemu nastaje galvanski članak. Kada nastane galvanski članak, jedan od metala postaje pretežno (ili u cijelosti) anoda i korodira brzinom većom od one kojom bi korodirao da nije spojen u galvanski članak, a drugi postaje pretežno (ili u cijelosti) katoda i korodira manjom brzinom nego da nije spojen u galvanski članak. Plemenitiji metal galvanskog članka postat će katoda i biti će katodno polariziran u odnosu na vlastiti korozijski potencijal u istom korozijskom okolišu. Na slici 7. je prikazana galvanska korozija aluminijskog nosača koji je bio pričvršćen čeličnim vijcima.



**Slika 7. Galvanska korozija [5]**

Odabirom kombinacije metala koji imaju relativno bliske korozijske potencijale, izolacijom kontakta različitih metala i izolacijom anodnog metala od korozivnog okoliša može se utjecati na smanjenje sklonosti prema galvanskoj koroziji.

Korozija u procjepu je po izgledu oštećenja srodna rupičastoj koroziji, a nastaje u procjepima na konstrukciji koji su nastali lošim oblikovanjem. Korozijski produkti nastaju u procjepu između dva konstrukcijska elementa zbog razlike u koncentraciji (najčešće kisika) u elektrolitu.

Slika 8. prikazuje nakupljanje i zadržavanje medija unutar procjepa u području zavarenog spoja cijevi različitih promjera i ukrasnog polimernog prstena.

Uzrok ove korozijske pojave nastale nakon nekoliko mjeseci je neprimjerna, pregruba mehanička obrada, kao i loša priprema područja zavarenog spoja.

Korektnim izvođenjem postupka zavarivanja i naknadne obrade zavarenog spoja potrebno je postići estetski prihvatljiv zavar i izbjeći potrebu postavljanja polimernog prstena s ciljem eliminiranja mogućnosti nastanka korozije u procjepu.



Slika 8. Korozija u procjepu [6]

### 2.2.3. Selektivna korozija

Selektivna korozija predstavlja oblik korozije kod koje dolazi do selektivnog rastvaranja manje plemenite komponente legure. Najvažniji primjeri selektivnog otapanja su: decinkacija mjedi i grafitizacija sivog lijeva, prikazani na slici 9.

Slično se događa s aluminijskom broncom – dealuminifikacija. Da bi se to izbjeglo bronci se dodaje 4 do 5% nikla, no problem se može ponovo pojaviti kod zavarivanja.

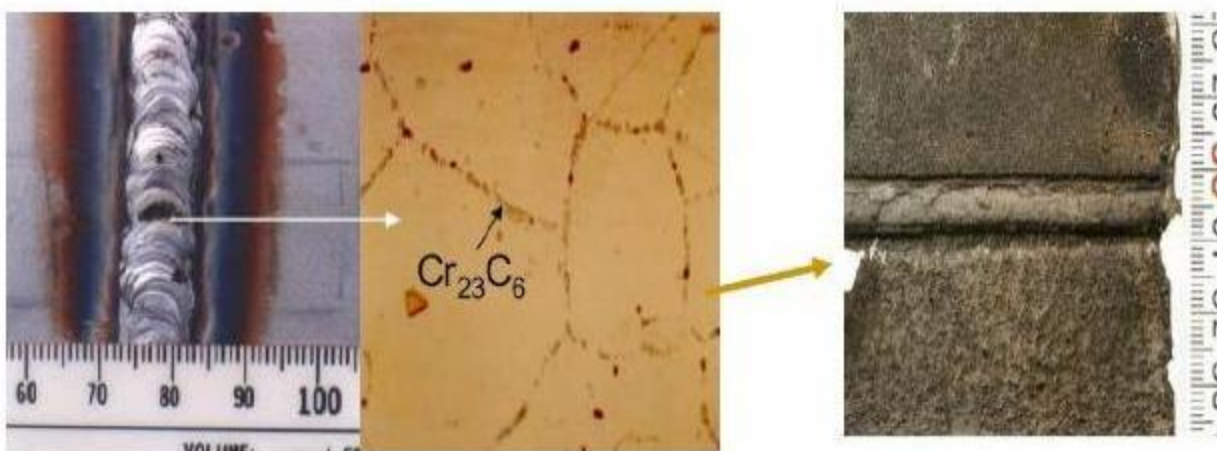


Slika 9. Decinkacija mjedi (lijevo) i grafitizacija sivog lijeva (sredina i desno) [3]



### 2.2.4. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija je oblik lokalne korozije koja razara materijal na granicama zrna šireći se na taj način u dubinu. Taj vid korozije dovodi do velikog pogoršanja mehaničkih svojstava metala. Interkristalna korozija se najčešće javlja kod nehrđajućih čelika i na legurama. Ova vrsta korozije je najopasniji oblik korozije jer može dugo ostati neprimijećena, a naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala. Konačna posljedica interkristalne korozije je lom ili čak raspad materijala u zrna. Interkristalne pukotine mogu nastati i kao posljedica napetosne korozije, a pritom pukotine ponekad napreduju i transkristalno. Na slici 10. dan je primjer izlučivanja precipitata  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  u zoni utjecaja topline prilikom zavarivanja, te posljedica raspada uz zavar engl. (weld decay).



Slika 10. Runjenje zrna u mediju te raspad uz zavar [3]

### 3. ZAŠTITA OD KOROZIJE

Metode koje se koriste za zaštitu od korozije [1]:

- 1) Elektrokemijske metode zaštite
  - katodna zaštita
  - anodna zaštita
- 2) Zaštita metala obradom korozijske sredine
  - uklanjanje aktivatora korozije
  - inhibitorima korozije
- 3) Primjena korozijski postojanih materijala
- 4) Konstrukcijsko tehnološke mjere
- 5) Zaštita prevlačenjem

#### 3.1. *Elektrokemijska metoda zaštite*

Temelje elektrokemijske zaštite postavio je Sir Humphry Davy 1824. godine. On je upotrijebio cink za zaštitu bakrenih oklopa na drvenim trupovima ratnih brodova u morskoj vodi. Danas se elektrokemijska zaštita koristi za zaštitu uronjenih i ukopanih metalnih konstrukcija koje nisu lako pristupačne za održavanje premazima, kao što su npr. cjevovodi, lučka postrojenja, brodovi, spremnici, izmjenjivači topline i armatura u građevinarstvu. Ovisno o načinu polarizacije, elektrokemijska zaštita može biti anodna ili katodna.

#### 3.2. *Zaštita metala obradom korozijske sredine*

Za ovu svrhu najčešće se koriste inhibitori korozije koji s razvojem tehnologije danas prednjače nad drugim metodama zaštite. Korozijsko djelovanje agresivnih komponenata u elektrolitu smanjuje se primjenom. Inhibitori korozije se definiraju kao tvari anorganskog ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Nekoliko je mehanizama djelovanja inhibitora, a radi se o stvaranju barijere (tanki film ili sloj korozijskog produkta) između okoline i metala, ili pak o promjeni okoline (smanjenje korozivnosti) materijala koji se štiti.

### 3.3. **Konstruktivsko tehnološke mjere**

Mnoge konstrukcijske i tehnološke mjere mogu znatno usporiti korozijski proces te samim time produljiti vijek trajanja opreme.

U tom smislu osnovna pravila su:

- za toplinske uređaje predvidjeti djelotvoran sustav za hlađenje konstrukcijskog materijala,
- konstrukciju oblikovati što jednostavnije kako bi se mogla lako čistiti i kvalitetno zaštititi prevlakama,
- onemogućiti nagomilavanje vode ili agresivnih tekućina u uređaju,
- izbjegavati visoke temperature, tlakove, naprezanja i brzine gibanja medija ako to nije nužno,
- provoditi plansko i preventivno održavanje,
- racionalno kombinirati konstrukcijske materijale i metode zaštite.

### 3.4. **Zaštita prevlačenjem**

Korozija metala može se zakočiti ili spriječiti nanošenjem prevlaka koje u prvom redu služe kao barijera prema agresivnom mediju. Prevlake mogu biti metalne i nemetalne, a nemetalne mogu biti organske i anorganske.

Metalne se prevlake, pored zaštite od korozije, nanose na površinu drugog metala i u svrhu promjene određenih fizikalno-mehaničkih svojstava površine kao što je tvrdoća, otpornost na trošenje, električna vodljivost, estetika itd.

Nemetalne anorganske prevlake nanose se kemijskim ili fizikalnim postupcima. Fizikalno se takve prevlake nanose izvana, tj. bez sudjelovanja podloge (prevlake emajla, betona). Kemijski se prevlake najčešće oblikuju procesom u kojem sudjeluje površina podloge (konverzijske podloge).

Prevlake se često koriste i za zaštitu od mehaničkog trošenja, estetskih razloga, ili pak regeneraciju istrošenih dijelova. Zaštitno djelovanje prevlaka ovisi o vrsti prevlake, njenoj debljini, o stupnju kompaktnosti i čvrstoći prijanjanja, te postupku samog nanošenja koji uključuje predobradu metalne površine za prevlačenje, nanošenjem u užem smislu i završnu obradu prevlake.

## 4. ORGANSKE PREVLAKE

Organski prevlake nanose se na metalne površine obično u dva ili više slojeva koji čine sustav premaza, a to su:

- bojenje i lakiranje,
- plastifikacija,
- gumiranje,
- bitumenizacija i
- konzervacija.

Organskim se prevlakama smatraju sve one koje čini kompaktnima organska tvar tvorbom opne. Takvi se slojevi dobiju nanošenjem organskih premaznih sredstava (bojanjem i lakiranjem), uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom (prevlačenjem plastičnim masama), gumiranjem i bitumenizacijom.

### 4.1. Organski premazi

Izraz boje i lakovi rabe se i za premazna sredstva i za gotove prevlake nastale njihovim sušenjem. One se također nazivaju naličima ili premazima. Sva premazna sredstva sadrže vezivo, koje čini opnu prevlake, i razrjeđivač, koji obično otapa vezivo, a regulira viskoznost. Osim toga premazna sredstva mogu sadržavati netopljive prahove (pigmente i punila) koji daju nijansu i čine premaze neprozirnim, kao i različite dodatke (aditive). Lakovi mogu biti prozirni ili čak neobojeni, a ako su pigmentirani, razlikuju se od boja većom glatkoćom, sjajem i tvrdoćom prevlake. Boje i lakovi se najčešće nanose višeslojno, a svrha im je većinom zaštitno-dekorativna.

Organska se premazna sredstva razvrstavaju na nekoliko načina, među kojima nijedan ne definira dotično sredstvo u potpunosti.

Glavni su načini razvrstavanja premaznih sredstava:

- prema sastavu, pri čemu se podjela obično osniva na vrsti veziva, ali ponekad i na vrsti pigmenta, odnosno razrjeđivača/otapala,
- prema osnovnoj svrsi (sredstva za zaštitu od korozije, od mehaničkog oštećivanja, od požara, od biološkog obraštanja, sredstva za dekoraciju, za električnu izolaciju itd.),
- prema izgledu (bezbojne i različito obojene, mutne i sjajne, prozirne i neprozirne boje i lakovi, lakovi za postizanje dojma sjajnog ili kovanog metala, mreškanja itd.),
- prema podlogama koje se nanose (crni i obojeni metali, građevinski materijali, drvo itd.),
- prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja (jedno-, dvo-, i višekomponentna premazna sredstva),



- prema ulozi u premaznom sustavu (temeljna, međuslojna i pokrivna premazna sredstva, kitovi itd.),
- prema načinu skrućivanja sloja (fizikalno isparavanje razrjeđivača/otapala, odnosno kemijsko otvrdnjavanje reakcijama u vezivu ili s vezivom).

#### 4.1.1. Komponente organskih premaza

Osnovne komponente premaza su: vezivo, otapalo, pigmenti, punila i aditivi [7].

**Vezivo** je nehlapivi organski dio premaznog sredstva koje osigurava prijanjanje te nakon nanošenja stvara zaštitni sloj na metalnoj površini. Određuje mehanička i kemijska svojstva premaza te povezuje sve druge komponente sustava u homogenu cjelinu.

U proizvodnji boja i lakova vezivo direktno utječe na kvalitetu i primjenu, a kako bi se postigla željena svojstva kombiniraju se različita veziva.

Najpoznatija korištena veziva su veziva na osnovi sušivih masnih ulja (laneno, tungovo), alkidnih smola, epoksidnih smola, poliuretana, derivata celuloze, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bitumenoznih tvari. Vrlo često za modifikaciju služe akrilatna veziva, nezasićeni poliesteri te silikonska veziva. Za spomenuti je još i veziva zasićenih poliesterskih smola koja su svoju primjenu pronašla u automobilskoj industriji, a koriste se za proizvodnju metalik lakova. Svojom kvalitetom nametnuli su se i u vrlo zahtjevnoj proizvodnji kućanskih aparata.

**Otapalo** je niskoviskozna lako hlapiva smjesa niske molekularne mase na osnovi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika, alkohola, ketona, glikola i estera.

Čine hlapljivi dio medija premaza i moraju ishlapiti tijekom formiranja filma. Hlapljenjem se onečišćuje okoliš te pridonosi zagađenju atmosfere.

Kako bi se spriječilo onečišćenje okoliša razvijani su premazi niže molekularne mase, vodotopivi ili vodorazrjeđivi premazi, čije otapalo/razrjeđivač ima ne zagađujuće svojstvo i kojima se reducira otpuštanje štetnih spojeva u atmosferu.

Razvijeni su i premazi s dodatkom niskoviskoznih omekšivača koji se pri pečenju premaza ugrađuju u vezivo, primjenom razrjeđivača koji ne hlapi te dvo- ili višekomponentni premazi od niskoviskoznih smola koji se miješaju neposredno prije nanošenja i otvrdnjavaju međusobnom reakcijom.

Kod ove komponente premaza postoji razlika između otapala i razrjeđivača te ju je potrebno naglasiti. Naime otapalo otapa vezivo u premaznom sredstvu dok razrjeđivač smanjuje i regulira viskoznosti premaza.

Iste organske kapljevine često služe i kao razrjeđivači i kao otapala. Naime sama viskoznost premaza vrlo je bitna jer o njoj direktno ovisi odabir tehnike nanošenja, kontrola tečenja mokrog filma, brzina sušenja te prionjivost suhog filma.

Pri proizvodnji premaza dodaje se dio otapala/razrjeđivača, a ostatak neposredno prije nanošenja, što može biti i nepotrebno ako je proizvođač već prilagodio viskoznost tehnologiji ličenja (najčešće premazivanju četkama).

**Pigmenti** su praškaste tvari najčešće anorganskog porijekla koje mogu biti prirodne ili umjetne. Nisu topivi u vezivu, ne ulaze u kemijske reakcije ni s vezivom ni s površinom na koju se nanose. Uloga im je premaz učiniti neprozirnim te mu pružiti obojenost, pokrivenost, a samim time i antikorozijsku zaštitu.

Pigmenti mogu biti dekorativni, antikorozijski i dekorativno-antikorozijski. Dekorativni učinak važan je samo za pokrivne premaze, a antikorozijski i za temeljne i za pokrivne kao i za međupremaze. U kontekstu antikorozijskih premaza razlikujemo aktivne i inertne zaštitne pigmente.

Antikorozijski se učinak temelji na postojanosti pigmenata prema agresivnom utjecaju okoline te aktivnoj ulozi u korozivskom procesu kad agresivne tvari prođu kroz premaz do metalne podloge.

Tada značajnu ulogu imaju temeljni premazi u kojima se nalaze aktivni zaštitni pigmenti koji se stavljaju isključivo u temeljni sloj kako bi bili u što neposrednijem kontaktu s površinom koja se štiti. Poželjno je da inertni zaštitni pigmenti budu prisutni u svim slojevima premaznog sredstva.

Osim antikorozivno-dekorativne funkcije, koja im je i najčešća, pigmenti mogu povećati kemijsku i toplinsku postojanost premaza, usporiti gorenje površine na koju je premaz nanesen, poboljšati otpornost filma na atmosferilije te poboljšati mehanička svojstva premaza.

**Punila** su praškaste tvari anorganskog porijekla koja se često dodaju premazu s ciljem poboljšanja optičkih, mehaničkih i termičkih svojstava te sniženja njegove cijene. Moraju biti kompaktni s pigmentima, s vezivom i s podlogom na koju se nanose. Poboljšanja optičkih i mehaničkih svojstava odnose se na sjaj, čvrstoću, prijanjanje, otpornost na trošenje.

Kao punila se rabe prirodne i umjetne anorganske tvari kao što su  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , glina i azbest.

**Aditivi** su tvari koje se dodaju premazima u malim udjelima (ispod 5%), a upotrebljavaju se kao katalizatori umrežavanja, omekšivači, stabilizatori, organski inhibitori korozije, organska bojila, površinske aktivne tvari i antioksidansi te kao sredstva protiv pjenjenja u cilju poboljšanja nekih njegovih svojstava.

Premazna se sredstva proizvode na osnovi formulacije te propisa za miješanje veziva, otapala/razrjeđivača, punila i aditiva u različitim omjerima. Iz toga proizlazi kako se na tržištu nudi veliki asortiman proizvoda koji se međusobno razlikuju po primjeni. Upravo je primjena ključan faktor o kojem ovisi cijena premaznog sredstva [7].

#### 4.1.2. Nanošenje organskih premaza

**Četke** (kistovi) se sastoje od pramenova (snopova) životinjskih, biljnih ili sintetičkih vlakana. Loša je strana četkanja niska produktivnost, tj. sporost premazivanja, te pojava pruga od kista, što uzrokuje lokalnu neravnomjernost debljine naliča i djeluje neestetski. Prednost je četkanja, što se može raditi bez dodatka razrjeđivača, jer proizvođači već prilagode viskoznost otapalima toj vrsti ličenja, pa se dobiju premazi veće debljine i manje poroznosti, uz smanjenje zagađivanja okoline i opasnosti od požara i eksplozije. Osim toga gubici premaznog sredstva su neznatni, a premaz se dobro utrlja u podlogu, što je osobito važno pri nanošenju prvog temeljnog sloja na konstrukcijski materijal. Četkanje se obavlja ravnim potezima kista u smjeru dolje-gore-dolje i odmah nakon toga poprečno desno-lijevo-desno.

**Lopaticice** (spatule) se izrađuju iz čelika, a služe za nanošenje kitova i nekih pastoznih premaza s velikim udjelom suhe tvari tako da se dobiju debele prevlake (preko 0,1 mm) koje su često neravnomjerne i hrapave. Postupak je srodan četkanju, ali uz slabije utrljavanje.

**Ličenje valjcima** od vune ili drugih vlakana mnogo je produktivnije od četkanja ako se radi o većim plohama, pa je osobito prikladno za prevlačenje limenih ploča i traka. Utrljavanje premaza je slabije nego pri četkanju, ali je sloj glađi i ravnomjerniji. Često se primjenjuju i strojevi za ličenje s nekoliko metalnih valjaka, naročito u proizvodnji limene ambalaže (tzv. limotisak). Gubici su pri nanošenju valjcima mali, a razrjeđivač obično ne treba dodati.

**Prskanje** (štrcanje) boja i lakova obavlja se stlačenim (komprimiranim) zrakom na sobnoj ili povišenoj temperaturi, bezračnim ili elektrostatičkim postupkom. Za zračno prskanje služe pištolji u koje se uvodi zrak pod tlakom 0,12 do 0,5 MPa i premazno sredstvo koje se zrakom raspršuje. Ono se u pištolj nasisava iz spremnika montiranog ispod raspršivača, i to podtlakom koji nastaje na ušću zračne mlaznice, ili se gravitacijom, odnosno stlačenim zrakom tlači iz spremnika. U industrijskim uređajima spremnik je redovito odvojen od pištolja, pa se sredstvo u njega privodi gravitacijski ili tlačno. Viskoznost se kod hladnog zračnog prskanja snižava dodatkom razrjeđivača, što produžuje sušenje, daje tanje i poroznije slojeve, povećava opasnost od požara i eksplozije te jače zagađuje zrak.

Prskanje se redovito obavlja u komorama s ventilacijom i vodenom zavjesom čime se uklanja magla od sitnih kapljica premaznog sredstva koje nastaje oko mlaza za nanošenje. Ušće pištolja je udaljeno od podloge 150-200 mm, a širina mlaza iznosi oko 300 mm. Gubici prskanjem u okolinu kreću se od 20 do 50 %, a osobito su veliki pri ličenju duguljastih proizvoda. Glavna je prednost zračnog prskanja visoka produktivnost te ravnomjerna debljina i estetski dojam prevlake.

Pištolj valja pomicati lijevo-desno-lijevo ravnim potezima, i to tako da mlaz uvijek udara okomito o podlogu. Kose i uspravne plohe počinju se prskati odozgo, a vodoravne od bližeg prema udaljenijem kraju. Velike plohe katkad se prskaju unakrsno.

Vruće zračno prskanje provodi se između 35 i 80 °C, čime se može dovoljno sniziti viskoznost bez dodatka razrjeđivača, pa se time izbjegavaju mnogi spomenuti nedostaci hladnog prskanja. Premazno se sredstvo grije u posebnom spremniku što dakako, povećava opasnost od požara. Vruće prskanje nije primjenjivo za višekomponentne boje i lakove [4].

Bezračno prskanje ili airless-postupak može biti pneumatičko ili hidrauličko, ali u oba slučaja mlaz premaznog sredstva nastaje u pištolju bez miješanja sa zrakom, visokotlačnim potiskivanjem zrakom ili nekim drugim plinom (pneumatički), odnosno pumpom za samu boju/lak (hidraulički). Tlak se kreće od 1-30 MPa [4]. Najjednostavniji uređaji za bezračno prskanje su metalne doze pod tlakom ukapljenog plina (tzv. sprejevi) te pištolji s ugrađenom membranskom pumpom.

Dobava takvih uređaja je vrlo mala tako da se rabe samo za popravke i u kućanstvu. Profesionalni bezračni uređaji rade uz tlakove iznad 10 MPa i daju usmjeren mlaz bez pojave magle, a primjena razrjeđivača obično nije potrebna. Produktivnost ličenja je zamjetno veća nego pri zračnom prskanju, a dobiju se deblje prevlake te se na taj način direktno može smanjiti broj slojeva u premaznom sustavu. Izbjegavaju se i drugi nedostaci hladnog zračnog prskanja, osobito ako se premazno sredstvo pri bezračnom postupku grije. Tada se tlak može smanjiti na 3,5-6,5 MPa. Postoje i posebni pištolji za hladno bezračno prskanje višekomponentnih boja i lakova. Zbog visokog tlaka ušće pištolja treba biti barem 300 mm udaljeno od podloge, pogotovo ako se obrađuju tankostjeni i mali predmeti, koji bi se mogli deformirati. Snažni mlaz otežava pri bezračnom postupku dobivanje potpuno glatkih prevlaka s visokim estetskim učinkom.

Za elektrostatsko prskanje boja i lakova nužan je visok napon (30-150 kV) između pištolja i obratka koji su obješeni na uzemljeni prijenosnik (obično lančani konvejer) [4]. Generator istosmjernog napona ugrađuje se u pištolj ili smješta izvan njega. Primjenjuju se kaskadni i turbinski visokonaponski generatori, a u novije vrijeme i tzv. tribogeneratori u pištolju, gdje električni naboj nastaje trenjem premaznog sredstva sa specijalnim materijalima. Potrebne struje su vrlo male (100-200  $\mu$ A) pa generator može biti minijaturan. Ušće pištolja se redovito nabija negativno, a konvejer s obracima pozitivno. Zbog snažnog električnog polja ionizira se zrak između pištolja i podloge tako da se oko kapljica boje/laka gomilaju ioni, što izaziva privlačnu *Coulombovu silu* između njih i obratka.

Premazi ne smiju biti jako vodljivi, ali ni sasvim nevodljivi. Raspršivanje je moguće influencijom na šiljastom ušću pištolja, ali se češće izvodi centrifugalno rotacijom pločastog ili čaškastog ušća, odnosno stlačenim zrakom. Premazno se sredstvo redovito mora razrijediti, a gubici prskaljem su minimalni (5-10%). Predmete s dubokim udubinama nemoguće je ravnomjerno prevući isključivo elektrostatičkim prskanjem. U takvim udubinama nema naboja (tzv. *Faradayeve kavezi*), pa se moraju ličiti nekim drugim postupkom.

**Uranjanjem** se boje i lakovi nanose na manje, jednostavne obratke koji se proizvode u velikim serijama. Pritom je nužno razrjeđivanje i naknadno ocjeđivanje viška premaza. Gubici su mali, ali je teško postići prevlake jednolične debljine na kompliciranim profilima te na unutarnjim i vanjskim površinama cijevi.

**Prelievanjem** se obično liče veći predmeti po čijoj se površini premazna sredstva lako razlijevaju, a nisu prikladni za prskanje zbog velikih gubitaka (npr. rešetkasti i rebrasti proizvodi). Nalič se prelijeva kroz mlaznice ili dugačke proreze (tzv. ličenje zavjesom). Premazna se sredstva razrjeđuju, kako bi se što ravnomjernije razlila po čitavom obratku. Višak premaza se skuplja u spremniku ispod zone prelijevanja i ponovno primjenjuje. Spremnik, dakle, može biti malen, a gubici premaznog sredstva neznatni. U većim uređajima predmeti se nakon prelijevanja oko 10 min drže iznad posude s razrjeđivačem, tj. u zraku zasićenom njegovim parama. Time se koči hlapljenje, što olakšava razlijevanje premaza u ravnomjernu i glatku prevlaku. Ta metoda ujednačavanja debljine prevlake dolazi u obzir i nakon prskanja ili uranjanja.

**Elektroforeza** najčešće služi za ličenje metala u vodenim disperzijama ili otopinama boja i lakova, u kojima postoje pozitivno i negativno nabijene čestice polimernog veziva s pigmentom ili bez njega, pri čemu je voda suprotno nabijena. U istosmjernom električnom polju čestice premaza putuju prema suprotno nabijenom obratku, a voda u obrnutom smjeru, pa se dobivaskoro suh nalič.

Najprije se zbog neravnomjerne razdiobe struje prekrivaju izbočeni dijelovi obratka, a zatim zbog izolacijskog učinka premaza postiže se visoka moć raspodjele, tj. dobiva se i na profiliranim predmetima prevlaka prilično jednolične debljine za 1-5 min uz gustoće struje 0,1-1 A·dm<sup>-2</sup> [4].

Ako su čestice premaza negativno nabijene, proizvodi se spajaju s pozitivnim polom izvora struje (anforeza), a ako su pozitivno nabijene s negativnim polom (kataforeza). Za razrjeđivanje služi čista (deionizirana) voda, a udio čvrste tvari u mediju iznosi 5-20 masenih %. pH se regulira dodatkom amonijaka ili organskim bazama (aminima) na 7-9 za anforezu, odnosno dodatkom slabih organskih kiselina (npr. octene ili oksalne) na 3-6 za kataforezu. Protuelektroda može biti posuda (obično od nehrđajućeg čelika). Potreban je izvor struje od 50-300 V, a radi se bilo uz konstantan napon, pri čemu opada gustoća struje, odnosno uz konstantnu gustoću struje, pri čemu valja povisiti napon. Elektroforetički se nanose samo temeljni premazi debljine 20-35 μm (npr. na karoserije) [4]. Načelno se elektroforeza može provesti i iz organskih medija, pa je ponekad korisno vodenim disperzijama ili otopinama dodati neka otapala.

Prikladnom formulacijom premaznog sredstva moguće je za elektroforezu primijeniti gotovo sva veziva, ali se najčešće rabe akrilati, alkidi, poliesteri, epoksidi, aminoplasti i fenoplasti. Uređaji za elektroforetičko ličenje sasvim su slični galvanskim uređajima, ali je potreban monogo viši napon, a postiže se daleko bolja moć raspodjele [4].

### 4.1.3. Sušenje organskih premaza

Nanošenjem premaznog sredstva nastaje mokri sloj koji treba osušiti, da bi se dobila suha, čvrsta prevlaka. Proces sušenja može teći [4]:

- isparavanjem otapala/razrjeđivača, tj. fizikalnim putem na temperaturi okoliša (hlapljenjem) ili uz grijanje,
- oksidacijskom polimerizacijom uz sudjelovanje kisika iz zraka, odnosno umrežavanjem polimera vlagom iz zraka,
- daljnjom polimerizacijom (često polikondenzacijom uz izdvajanje malih molekula) makromolekulskih sastojaka naliča, odnosno njihovim umrežavanjem,
- kombinacijom isparavanja s drugim spomenutim kemijskim procesima.

Daljnja polimerizacija, odnosno umrežavanje bez sudjelovanja tvari izvan naliča teku bez grijanja (obično katalitički), uz grijanje, tj. toplinsku aktivaciju ili kombinacijom katalize i grijanja. Sušenje iznad 80 °C redovito se naziva pečenjem, a za kemijsko se sušenje često rabi izraz otvrdnjavanje.

Samim isparavanjem organskih kapljevina, a eventualno i vode, suše se premazi sa celuloznim derivatima, s vinilnim i nekim akrilnim smolama, klorokaučukom te s bituminoznim tvarima i prirodnim smolama kao vezivima.

Većinom se premazi suše i fizikalno i kemijski, tj. isparavanjem hlapivih tvari i reakcijama. Čisto kemijski otvrdnjavaju samo premazna sredstva bez otapala, u kojima hlapive tvari sudjeluju u skrućivanju sloja. Oksidacijska je polimerizacija karakteristična za premaze sa sušivim uljim, a umrežavanje vlagom za jednokomponentne poliuretanske premaze.

Najčešće se sušenje obavlja prirodnom ili umjetnom konvekcijom zraka, osobito ako pritom valja ukloniti samo hlapive tvari. Da bi prirodna konvekcija bila uspješna i dovoljno brza, temperatura pri ličenju trba biti između 15 i 30 °C i to barem 4 °C iznad rosišta zraka, kako bi se osigurala relativna vlažnost ispod 80% i spriječila kondenzacija vode pri hlapljenju otapala/razrjeđivača. Niska vlažnost pogoduje hlapljenju vode ako je ima u premaznom sredstvu. Pri umjetnoj konvekciji zrak se obično grije, ali temperatura ne smije premašiti početak intervala vrenja otapala/razrjeđivača. Za takvo sušenje često služe komore ili tunnelske peći. Konveksijsko sušenje teče izvana prema unutra, pa se na površini premaza stvara kožica koja usporava isparavanje hlapivih tvari.

Premazi se suše i radijacijom, tj. zračenjem u području mikrovalova ili infracrvenog svjetla, pri čemu prevlaka propušta, a podloga (osobito metalna) odbija zrake tako da sušenje teče iznutra prema van, što je povoljno, ali su uređaji prilično skupi. Isti se smjer sušenja postiže indukcijom vrtložnih struja u metalnoj podlozi uz frekvenciju 0,5-20 kHz [4]. Indukcijsko se sušenje rabi za proizvode od tankog lima tj. s malim toplinskim kapacitetom.

Otvrdnjavanje slojeva kemijskim procesom nakon uklanjanja hlapivih tvari može se velikom brzinom obaviti aktivacijom ultraljubičastim zrakama, elektronskim mlazom ili niskotemperaturnom plazmom, tj. električnim izbijanjem u vakuumu.

Često se sušenje premaza provodi u dva stadija, i to isparavanjem otapala/razrjeđivača na nižoj temperaturi i otvrdnjavanjem na višoj temperaturi. Isparavanjem se pri sušenju mokri sloj naliča pretvara u tanji, suhi sloj. Omjer debljine suhog i mokrog sloja ( $\delta_s$  i  $\delta_m$ ) jednak je omjeru volumena suhog premaza i mokrog premaznog sredstva, prema jednadžbi (1):

$$x_v = \frac{\delta_s}{\delta_m} = \frac{V_s}{V_m} \quad (1)$$

Što je taj udio veći, sušenje je brže, zagađivanje zraka manje i može se dobiti jednoslojna prevlaka veće debljine i manje poroznosti. Posebna premazna sredstva s velikim  $x_v$  omogućuju nanošenje kvalitetnog sloja debljine od 80  $\mu\text{m}$ . S udjelom  $x_v$  razmjerna je izdašnost (moć rasprostiranja) premaznog sredstva, tj. ploština koja se može kvalitetno prevući suhim slojem stanovite debljine nanošenjem litre ili kilograma premaznog sredstva. Teorijska se izdašnost u  $\text{m}^2$  odnosi na nerazrijeđeno sredstvo pod pretpostavkom da nema gubitaka, a ograničena je nekom minimalnom debljinom suhog sloja, ispod koje nije moguće postići dovoljnu kompaktnost. Valja napomenuti da je izdašnost manja za hrapavije podloge jer se više premaznog sredstva troši za popunjavanje mikroudubina. Praktička se izdašnost izračuna iz definirane teorije izdašnosti množenjem s iskorištenjem premaznog sredstva, tj. uzevši u obzir gubitke, pa vrijede jednadžbe (2) i (3):

$$\zeta_v = \eta \zeta_v = \frac{\eta S}{V_m} = \frac{\eta S}{S \delta_m} = \frac{\eta x_v}{\delta_s} \quad (2)$$

$$\zeta_m = \eta \zeta_m = \frac{\eta S}{m_m} = \frac{\eta S}{V_m \rho} = \frac{\eta x_v}{\delta_s \rho} \quad (3)$$

Gdje su  $(I_v)_p$  i  $(I_v)_t$  praktička i teorijska volumenska izdašnost,  $(I_m)_p$  i  $(I_m)_t$  praktička i teorijska masena izdašnost,  $\eta$  iskorištenje premaznog sredstva,  $S$  prevučena ploština,  $m_m$  i  $V_m$  masa i volumen nanesenog, tj. mokrog, sredstva, a  $\rho$  njegova gustoća. Teorijska volumenska izdašnost premaznih sredstava za optimalnu debljinu suhog sloja kreće se od 2,5 do 25  $\text{m}^2 \cdot \text{L}^{-1}$  [4].

Ekološki je, naravno, povoljno rabiti sredstva se što većim  $x_v$ , tj. sa što manje hlapivih organskih tvari te odabrati tehnološki postupak koji daje veći  $\eta$ . Tada se i uz malu izdašnost dobiju relativno debele prevlake.

Trajnost premaznih sredstava iznosi 5-50 godina, i to obično uz povremene popravke koji se provode lokalno na temelju utvrđivanja stanja. Popravke čine čišćenje i kondicioniranje oštećenih površina kao i nanošenje novih slojeva bez potpunog skidanja starih. Tako se obavljaju i popravci radioničkog premaza poslije skladištenja, prijevoza i montaže, nakon čega slijedi nanošenje ostalih slojeva premaznog sustava.

Obnova cjelokupnog sustava zahtijeva skidanje starih premaza, a poduzima se nakon temeljite tehničko-ekonomske analize koja opravdava postupak uzimajući u obzir:

- stanje površine (postojanje korozijskih produkata i drugih naslaga, pojava mjehura, pukotina i ljuštenja, smanjenje debljine i adhezije prevlake itd.),
- predvidive troškove obnove premaza, pri čemu je obično cijena rada 2-5 puta veća od cijene premaznih sredstava,
- preostalu upotrebnu trajnost obratka, konstrukcije, uređaja ili postrojenja koja ne bi smjela biti kraća od trajnosti obnovljenog premaznog sustava [4].

## 4.2. Plastifikacija

Plastifikacijom se na metalne i nemetalne podloge nanose prevlake od plastičnih masa veće debljine (obično 0,2-5 mm) koje se nazivaju i oblogama. Mnoge su takve prevlake po sastavu vrlo srodne premazima s poliplastičnim vezivima, ali se razlikuju od njih po tehnologiji nanošenja.

### 4.2.1. Metode plastifikacije

Primjenjuje se velik broj postupaka, među kojima su najvažniji; oblaganje lijepljenjem, vruće prskanje, nataljivanje, fluidizacija i *elektrostatičko naprašivanje* [4].

**Lijepljenjem** sa nanose plastične folije i ploče, i to najčešće na čelične podloge fino ohrapavljene mlazom abraziva. Ljepilo mora biti kompatibilno s podlogom i s prevlakom, a redovito se izrađuje od istog ili srodnog poliplasta, od kojeg je i prevlaka, otapanjem u organskim kapljevinama koje lako hlape. Čvrsto prijanjanje osiguravaju dipolne molekule u prevlaci i ljepilu. Stoga se za plastifikaciju lijepljenjem izravno rabe polivinilklorid i druge vinilne smole. Nedipolne polimere, kakvi su polietilen, polipropiln i poliizobutilen treba aktivirati posebnim ljepilima ili predobradom jakim oksidansima (peroksidima, kromatima, nitratima ili hipokloritima), kako bi se u strukturu njihove površine uvele dipolne skupine. Plastifikacija lijepljenjem služi prije svega, za zaštitu unutrašnjosti posuda i vanjskih površina cijevi, i to pritiskanjem napetih folija ili ploča na podlogu s ljepilom pomoću valjka. Nepropusnost obloga od folija postiže se preklapanjem, a procijepe (fuge) između plastičnih ploča valja popuniti zavarivanjem ili prikladnim kitom. Termoplasti se zavaruju pri čemu kao dodatni materijal služe žice od omekšanog termoplasta koje se tale vrućim zrakom. Za vanjsko prevlačenje cijevi rabi se i tzv. bandažiranje, tj. ovijanje samoljepivim folijama.

**Vruće prskanje** poliplasta podudara se sa metalizacijom šopiranjem, tj. obavlja se nanošenjem kapljica ili toplinski omekšanih zrnaca na metalne i nemetalne podloge primjenom pištolja, kojem se privodi plastika u obliku praha ili žice, a ponekad i kao pasta od plastisola (smjese termoplasta i omekšivača).

Za grijanje obično služi plamen acetilena i zraka, a za raspršivanje zrak. Podloge se često predgrijavaju plamenom bez privođenja poliplasta te se time postiže čvršće prijanjanje. Prskanje se izvodi nekoliko puta u slojevima debljine oko 0,3 mm. Problem se javlja kod tankih limova koji se pri nanošenju mogu izvitoperiti, dok predebele metalne predmete nije lako zagrijati na dovoljnu temperaturu. Kapacitet pištolja iznosi 2-10 kg·h<sup>-1</sup>, a prijanjanje zadovoljava ako je metalna ili betonska podloga fino i jednolično ohrapavljena.

Neki se plastificirani predmeti naknadno griju iznad tališta termoplastičnih prevlaka, odnosno iznad temperature umrežavanja, kako bi se postigla što veća kompaktnost. Postoje pištolji za plastifikaciju bez grijanja plamenom, a potrebna toplina se dobiva infracrvenim svjetiljkama, elektronskim mlazom ili dielektričkim visokofrekventnim grijanjem.



**Plastifikacija nataljivanjem** obuhvaća sve metode s taljenjem poliplasta, ali se taj pojam najčešće odnosi na vruće oblaganje bez ljepila, pri čemu se poliplast djelomično rastali.

Tehnološki postupak je sličan oblaganju lijepljenje, a provodi se valjanjem, pri čemu se vruća termoplastična, površinski modificirana traka spaja s aluminijskom ili čeličnom trakom. Takvi proizvodi nazivaju se laminat ili kaširana traka.

**Plastifikacija fluidizacijom** ili vrtložnim sinteriranjem (sraščivanjem) temelji se na uranjanju metalnog obratka predgrijanog 100-200 °C iznad tališta poliplasta u uskovitlani sloj nastao propuhivanjem zraka ili dušikakroz porozno dno radne posude na koji je nasut praškasti poloplast. Plin se uvodi u donji dio posude, tj. u međuprostor između pravog i poroznog dna (zapravo gustog filtra od keramike ili stakla). Potrebno je svega 5-10 s da se na obratku taljenjem oblikuje prevlaka, a njezina debljina ovisi o temperaturi predgrijanja i toplinskom kapacitetu predmeta. Umjesto propuhivanjem fluidni se sloj može dobiti vibracijama posude s plastičnim prahom uz dovoljnu frekvenciju i amplitudu. Postoje izvedbe uređaja gdje se pneumatički i vibracijski postupak fluidizacije mogu kombinirati.

**Elektrostatsko naprašivanje** služi za plastifikaciju metalnih podloga, a srodno je elektrostatičkom ličenju koje je ranije opisano. Budući da se ne primjenjuje razrjeđivač ni otapalo, postupak se naziva i ličenjem. Ekološki je elektrostatičko naprašivanje vrlo povoljno, osobito u usporedbi s postupcima ličenja bojama i lakovima s hlapivim organskim tvarima. Iz nanesenog praha prevlaka se oblikuje taljenjem pri 180-250 °C [4].

Ako se radi s duromernim prahom ujedno se obavlja i kemijsko otvrdnjavanje. Prah se elektrostatičkom pištolju privodi pneumatički, a neiskorišteni se dio (do 20%) rekuperira pneumatičkim separatorima. Postupak se obavlja u zatvorenim kabinama uz dodatne mjere opreza zbog mogućnosti nastajanja eksplozivne smjese plastičnog praha i zraka. Elektrostatičkim se naprašivanjem dobivaju glatki slojevi debljine 0,05-1,5 mm. Zbog velikih početnih investicijskih ulaganja kod uvođenja ovog postupka potreban je veliki proizvodni kapacitet kako bi se ulaganje isplatilo.

### 4.3. Gumiranje

Za gumiranje i bitumenizaciju rabe se često postupci koji služe i za plastifikaciju, ali obično uz djelomične izmjene.

Gumiranje se najčešće primjenjuje za zaštitu unutrašnjosti posuda i cijevnih dijelova postrojenja. Podloge su obično od fino i jednolično ohrapavljenog ugljičnog čelika, a katkad i od sivog lijeva ili mjedi. Na druge metale guma ima loša svojstva prianjanja. Najvažniji je način gumiranja oblaganje pomoću gumenog ljepila koje je jako slično plastifikaciji lijepljenjem. Ploče od meke gume ili ebonita (tvrde gume s više od 30 masenih % S) nanose se na ljepilo uz pritiskanje valjcima ili drugim alatom. Čvršće se prianjanje postiže ako se ljepilo nanese i na metal i na gumenu ploču. Pri mekom gumiranju nepropusnost se postiže preklapanjem ploča, a pri ebonitiranju popunjavanjem procijepa između ploča gumenim kitom. Redovito se gumira višeslojno tako da je debljina obloga 3-12 mm. Katkad se primjenjuju obloge od sirove gume (kaučuka), ali se u većini slučajeva vrši naknadna vulkanizacija, čime se poboljšavaju svojstva. Uz dodatak katalizatora vulkanizacija (otvrdnjavanje umrežavanjem) teče i bez grijanja, ali se najčešće obavlja između 70 °C i 150 °C vrućim zrakom ili vodom, odnosno vodenom parom tijekom 30 min do desetak sati. Ebonit je korozijski postojaniji od meke gume, ali je neotporan na udarce i nagle temperaturne promjene, pa se često ispod sloja ebonita nanosi meka guma [4].

### 4.4. Bitumenizacija

Bitumenizacija je nanošenje bituminoznih tvari, tj. naftnog bitumena i katrana kamenog ugljena, pri čemu se rabi oblaganje lijepljenjem ili djelomičnim nataljivanjem bitumenskih bandaža, odnosno nataljivanjem samog bitumena ili katrana.

Bitumenizacija služi za zaštitu podzemnih i podvodnih konstrukcija, najčešće cjevovoda. Bituminozne prevlake često sadrže praškasta ili zrnata punila (npr. kremenji pijesak, talk, mljeveni granit ili vapnenac itd.). Takve se prevlake nazivaju i asfaltnima, a postojanije su od prevlaka bez punila prema kiselim, odnosno lužnatim sredinama. Najčešće se bitumeniziraju čelične i betonske podloge.

Bitumenizirane bandaže služe za dugotrajnu zaštitu, a proizvode se tvornički ili se oblikuju pri nanošenju prevlake. To su tkanine impregnirane bituminoznim tvarima nalijevanjem oko 200 °C. Tkanina ojačava (armira) prevlaku tako da je debljina jednostruko armirane bandaže oko 4 mm [4].

Najčešće se rabe tkanine na osnovi staklenih i sintetičkih vlakana, iako dolaze u obzir i juta, pamuk, vuna, pust ili azbestna tkanina. Prve tri nisu dovoljno postojane i s bituminoznim tvarima daju korozivne i otrovne fenole, a azbest može djelovati kancerogeno.

Primjenjuju se i dvostruko armirane bandaže s jednim slojem tkanine unutar nje i s drugim slojem izvana. Za vanjsko armiranje koristi se i krovna ljepenka.

Magistralni se cjevovodi često dvostruko bandažiraju prevlakama debljine do 10 mm jer je nužno postići trajnost od nekoliko desetljeća. Nepropusnost prevlaka osigurava se preklapanjem bandaža u širini iznad 100 mm. Postoje posebni uređaji za pogonsko ili terensko bandažiranje cijevi ili gotovih cjevovoda. Uređajima se privode gotove bandaže ili ih oni sami oblikuju. Cijevi se obično uz rotaciju provlače kroz uređaj ili uređaj putuje uzduž cijevi.

Takvi pokretni uređaji bandažiraju i gotove cjevovode. Za bandažiranje lijepljenjem kao ljepilo se rabi otopina bituminozne tvari u benzinu (bitumenski lak) ili katran-epoksidno ljepilo.

Vruće bandažiranje (iznad 180 °C) moguće je obaviti djelomičnim nataljivanjem. Postoje i bandaže za bitumenizaciju koje su izvana kaširane plastičnom folijom (najčešće polietilenskom ili polivinilkloridnom) koja ojačava prevlaku i bitno povećava njezinu zaštitnu sposobnost.

Tvorničko nataljivanje naftnog bitumena ili katranske smole na čelične cijevi bez armiranja daje prevlake debljine 0,5-2,5 mm. Uz armiranje postižu se debljine do 5 mm. Poslije nataljivanja cijevi se odmah provlače kroz prstenaste četke, da bi se sloj što jednoličnije razmazao po čitavoj površini i postao što gladi. Pri nataljivanju cijevi obično rotiraju. Rotacija velikom brzinom rabi se za bitumenizaciju unutrašnjosti širokih cijevi, pri čemu nastaje ravnomjeran sloj zbog centrifugalnog učinka.

Tvornički nanese bituminozne prevlake treba tijekom ili nakon montaže, tj. na terenu, pregledati, a ako je potrebno i popraviti. Ukoliko prevlaka nema vanjsku armaturu, redovito se prije prijevoza na nju nanosi vapneno mlijeko, kako bi se izbjegla ljepljivost.

Na niskim temperaturama bituminozne su prevlake krhke, a na povišenim meke, pa je temperaturni opseg primjenjivosti ograničen.

Posebno se postupcima obrade bitumena ili katrana taj opseg da proširiti u rasponu od -15 do 120 °C. To se npr. postiže puhanjem zraka kroz bitumensku talinu, tj. djelomičnom oksidacijom (puhani bitumen).

## **4.5. Konzervacija**

Posebno valja obraditi organske prevlake za privremenu zaštitu ili konzervaciju tijekom međuoperacijskog čekanja na montažu, skladištenje, prijevoz (osobito prekomorski) i sl. Konzerviraju se i uređaji i postrojenja koja se povremeno koriste (npr. oružje, građevinska i poljoprivredna mehanizacija, instalacije za grijanje, postrojenja za preradu sezonskih sirovina i sl.). Razdoblje privremene zaštite kreće se između 2 tjedna i 2 godine. Koriste se mnogi spomenuti postupci pod uvjetom da su jeftini te da se prevlaka prije upotrebe proizvoda ne mora ukloniti, odnosno da se lako uklanja (obično ljuštenjem ili otapanjem u jeftinim otapalima kao što su benzin i špirit).

Često se konzervacija organskim prevlakama naziva kontaktnom jer se konstrukcijski materijal (obično metal) štiti dodiranjem, a postoje i drugi načini konzervacije bez prevlačenja tj. bez dodira (npr. omotima).

Kao sredstva za konzervaciju mogu poslužiti kapljevita i polučvrsta (konzistentna) maziva, tj. rafinirana maziva ulja na osnovi naftnih ugljikovodika te njihove polučvrste smjese s netopivim sapunima i mazivim mastima. Ova zaštitna sredstva redovito sadrže aditive kao što su organski inhibitori korozije, stabilizatori koji koče oksidativnu degradaciju ugljikovodika iz sredstava u organske kiseline, te vodoodbojne tvari koje istiskuju vodu s površine metala omogućujući konzervaciju vlažnih površina. Za nanošenje zaštitnih ulja i masti služe uobičajeni načini podmazivanja, uključujući primjenu mazalica s mehaničkim ili pneumatskim tlačenjem. Predmeti se mogu nauljiti i četkama ili krpama, uranjanjem, prelijevanjem ili prskanjem, a namastiti istim postupcima na temperaturi ispod tališta.

Ako se konzerviraju površine koje se u eksploataciji podmazuju, nastoje se primijeniti ulja i masti s takvim mazivim svojstvima da ih ne treba skidati prije puštanja u rad.

Za uklanjanje ulja često zadovoljava brisanje čistim krpama. Trajnost zaštite uljima opada s njihovom viskoznošću i iznosi oko 6 mjeseci u zatvorenim skladištima i pod nadstrešnicama. Masti osiguravaju dužu zaštitu. Kako bi se produžio zaštitni učinak uljima i mastima se mogu dodati lanolin (vunena mast), petrolatumi (naftne masti, npr. vazelin), bituminozne tvari te pčelinji, biljni, naftni, zemni ili sintetički voskovi.

Lanolin i različiti voskovi koriste se i kao samostalna sredstva za konzerviranje, bilo kao taline, bilo kao otopine u benzinu (zaštitni fluidi). Talinama se konzerviraju predmeti uranjanjem u području između 50 i 150 °C, odnosno vrućim prskanjem. Fluidi se također nanose uranjanjem, ali i prskanjem ili četkanjem. Na konzerviranim ploham ostaju meke opne, predviđene za zaštitu u razdoblju 12-18 mjeseci pod uobičajenim okolnostima. Dekonzervacija se provodi otapanjem u benzinu ili petroleju, odnosno taljenjem i otapanjem u vrućem mineralnom ulju [4]. Zaštitni su fluidi i otopine zaštitnih ulja i masti u benzinu ili u smjesama benzina sa špiritom i halogeniranim ugljikovodicima.

Njima se također često dodaje lanolin, vazelin, bitumen, vosak ili prikladni poliplast. Što je veći udio bitumena ili poliplasta, tvrđe su opne na konzerviranim ploham, a zaštitno razdoblje je duže.

Zaštitna se ulja primjenjuju i u obliku vodenih emulzija, koje sadrže površinski aktivne tvari (emulgatore). Emulzijama se mogu kratkotrajno zaštititi metalne površine, čak i kad su vlažne, a dekonzervaciju je moguće provesti i vodom (najbolje pod mlazom).

Kao sredstva za privremenu zaštitu, analogna zaštitnim fluidima, služe lakovi koji se lako skidaju otapanjem ili ljuštenjem. Često su obojeni organskim bojilima ako su im veziva bezbojna i prozirna, što omogućuje djelotvornu kontrolu pri konzervaciji i dekonzervaciji. Kada se rabi vrući medij, pogotovo ako se brzo giba (u protočnom sustavu), dekonzervacija teče spontano pri puštanju u pogon. Tako se npr. uklanja zaštitni lak s lopatica parnih turbina vodenom parom. Lakovi za konzervaciju obično sadrže nepigmentirana veziva i jeftina otapala.

Najraširenija su veziva derivati celuloze, vinilne i akrilne smole, polietilen, bitumen, neke vrste kaučuka, polistiren i kolofonij.

Konzervacija se obavlja uranjanjem, prskanjem, prelijevanjem i premazivanjem. Slojevi su debeli 30-50 µm i služe za srednjeročnu zaštitu. Pri dekonzerviranju otapanjem primjenjuju se benzin, špirit, aceton i razrjeđivač. Tako se skidaju slojevi na osnovi celuloznih derivata, vinilnih i akrilnih smola i bitumena. Mnogi se celulozni derivati, vinilne smole, polietilen, i pojedine vrste kaučuka lako uklanjaju ljuštenjem.

Za dugoročno konzerviranje (alata i rezervnih dijelova) rabe se termoplastične obloge debele oko 2 mm koje se skidaju ljuštenjem (tzv. banana-filmovi). One se dobivaju uranjanjem hladnih predmeta manjih dimenzija u talinu termoplasta pri 80-200 °C. U zaštitnom sredstvu često ima zaštitnog ulja koji i nakon ljuštenja banana-filma štiti metal od korozije pod blagim uvjetima. Skinuto zaštitno sredstvo redovito je moguće ponovno primijeniti [4].

U tablici 1. prikazani su važniji postupci nanošenja organskih prevlaka.

Tablica 1. Važniji postupci nanošenja organskih prevlaka [4]

Postupak	Prevlake/podloge	Metoda prevlačenja	Značajke postupka i svojstva prevlaka
<b>Bojenje i lakiranje (ličenje)</b>	Naliči na osnovi sušivih ulja, poliplasta, celuloze, kaučuka, bitumena / ugljični čelici, drvo, beton, itd.	Ličenje četkama i valjcima, prskanjem, uranjanjem, prelijevanjem i elektroforezom; sušenje, pečenje, otvrdnjavanje	Temeljni i pokrivni naliči; svojstva ovisna o vezivu i pigmentu; razrjeđivači organske kapljevine (hlapive, zapaljive, otrovne) uz mogućnost zamjene vodom; sušenje hlapljenjem, odnosno katalitičkom ili toplinskom reakcijom (pečenje); debljine do 0,5 mm
<b>Plastifikacija</b>	Poliplasti / ugljični čelici, beton, drvo itd.	Lijepljenje, vruće prskanje, nataljivanje, fluidizacija (vrtložno sinteriranje), <b>elektrostatičko naprašivanje</b> i ovijanje bandaža	Svojstva prevlaka znatno variraju; najčešće za unutrašnjost posuda i cijevi; osobito prikladno protiv kiselina; debljine od 5 do 10 mm
<b>Gumiranje</b>	Guma (vulkanizirani kaučuk) / ugljični čelici, sivi lijev i mjed	Lijepljenje listova gumenim lijepkom uz pritisak valjcima; često višeslojno	Nanosi se meka i tvrda guma (ebonit), modificirana prirodna ili sintetička; vulkanizacija grijanjem ili katalitički; neotporna na ultraljubičasto svjetlo; inače kao za plastifikaciju
<b>Bitumenizacija</b>	Naftni bitumen i katranska smola / ugljični čelici	Nataljivanje, obično uz armiranje platinom ili staklenim vlaknima; ovijanje bandaža	Najčešće za podzemne cjevovode, katkad i za njihovu unutrašnjost; debljine do 10 mm
<b>Konzervacija (privremena zaštita)</b>	Maziva ulja, masti, vazelin, lanolin; njihove otopine i emulzije; prozirni lakovi; plastični banana-filmovi / metali	Premazivanje, uranjanje, prskanje, trljanje	Kratkotrajna zaštita (7 dana do 2 godine); eventualna dekonzervacija ljuštenjem ili otapanjem u benzinu ili alkoholu

## 5. ELEKTROSTATSKO NAPRAŠIVANJE

Elektrostatsko naprašivanje je metoda nanošenja praškastih prevlaka i danas ima široku primjenu.

U vrlo kratkom razdoblju došlo je do naglog razvoja i kao metoda se sve više počela koristiti. Razvijena je sredinom 60-ih godina prošlog stoljeća, a karakterizira je vrlo učinkovit proces koji se odnosi na brzinu aplikacije praškaste prevlake i vremenu potrebnom da bi se stvorio kompaktan i postojan suhi film. Bez obzira na to, prihvaćanje praškastih prevlaka u SAD-u tekao je vrlo suzdržano dok je u Europi metoda zaštite elektrostatskim naprašivanjem prihvaćena mnogo bolje, a s time se i tehnologija razvijala mnogo brže nego bilo gdje u svijetu. Bez obzira na sve to, mnoga pozitivna unaprjeđenja potekla su iz SAD-a.

Ta unaprjeđenja odnose se na probleme povezane sa elektrostatskom praškastom prevlakom jednako kao i poboljšanja povezana s komponentama operativnog sustava. Rezultat toga je širok spektar sustava elektrostatskog naprašivanja praškastih prevlaka danas dostupnih u SAD-u.

U radu sustava elektrostatskog naprašivanja prah se pumpa iz dobavljača praha kroz crijevo za dobavu do pištolja za naprašivanje. Pištoljem se prah direktno nanosi na obradak u obliku raspršenog oblaka. Sila tlaka zraka omogućuje transport praha iz dobavljača u pištolj i naknadno elektrostatsko nabijanje praha u pištolju. Elektrostatski napon se prenosi u pištolj za naprašivanje iz izvora visokog napon, a niske struje napajanja, na elektrode povezane s pištoljem. Nejednoliko, elektrostatski nabijeni prah u obliku oblaka direktno obavija uzemljeni obradak, uspostavlja se privlačnost električnog polja i prah stvara pokrivni sloj.

Prekomjerno nanesen prah koji se nije prihvatio za obradak prikuplja se i odvodi zračnom strujom u poseban spremnik. Tako prikupljeni prah se automatski (može i ručno) vraća natrag u dobavljač. Zrak iz procesa prolazi kroz nekoliko uređaj za filtraciju, a nakon toga se vraća u radni prostor. Obradak na koji je apliciran prah prenosi se iz područja aplikacije i podvrgava pečenju u peći gdje se prah tali i otvrdnjava stvarajući kompaktnu prevlaku.

Procesom (elektrostatskim naprašivanjem) dobivaju se vrlo kompaktne površine od poliestera željene debljine. Proces omogućuje potpuno prekrivanje osnovnog metala koji na sebi ima tanku fosfatnu anorgansku prevlaku. Granulometrijski sastav poliesterskog praha je takav da omogućuje najsitnijim česticama prodor među kristalne naslage fosfata gdje nakon polimerizacije ostaje trajno fiksirane, povećavajući znatno adheziju za metal.

Tako naneseni poliester je stabilan i kemijski i mehanički te je u ovisnosti o svojim karakteristikama pogodan za upotrebu u svim klimatskim i agresivnim sredinama [8].

Proces plastificiranja se sastoji od tri faze:

1. priprema površine dijelova postupkom kemijske predobrade, fosfatiranjem,
2. nanošenje poliesterskog praha,
3. polimerizacija poliesterskog praha.

## 5.1. Priprema površine kemijskom predobradom

Iskustva od ranije pokazuju da je osnovni uvjet za dobivanje kvalitetnog sustava antikorozivne zaštite dobra prionjivost prevlake, a može se postići samo na čistim podlogama. Za proces korozije važan je faktor prisutnosti vlage koja difundira kroz organsku zaštitnu prevlaku, reagira sa metalnom površinom stvarajući korozivne produkte zbog kojih dolazi do bubrenja i ljuštenja prevlake. Zbog toga je vrlo poželjno, prije nanošenja organske zaštitne prevlake na metalnu podlogu nanijeti anorganski zaštitni sloj čija je uloga pasivacija i izolacija metalne površine od agresivnog djelovanja okoline.

Važno svojstvo zaštitne prevlake je njena adhezija na površinu podloge. Veza koja se uspostavlja između zaštitnog filma prevlake i podloge obično je kemijskog karaktera, uzrokovana „Van Der Valsovim“ silama i vodikovim vezama (nije mehaničkog karaktera kako se prije smatralo).

Fosfatiranje je postupak kojim se na metalnim površinama dobivaju fosfatne prevlake djelujući kao izolacijski sloj, a zbog dobrog prijanjanja sprečavaju da se stvore lokalne veze između površine na mjestu oštećenog dijela prevlake i zaštićenog dijela površine.

Ispitivanja su pokazala da sloj Fe-fosfata predstavlja odličnu podlogu za plastificiranje, te da se postiže bolja adhezija nego sa Zn-fosfatom. Na temelju rezultata ispitivanja provedenih u bivšem Elektrotehničkom institutu „Rade Končar“ i u skladu sa mogućnostima u postojećim prostorima odabran je tehnološki postupak kemijske predobrade koji obuhvaća [9]:

1. odmašćivanje (vruće alkalno,  $t=$ do 20 min,  $T=75\pm 5$  °C)
2. ispiranje (hladno protočno,  $t=5$  min)
3. dezoksidaciju (kiselina na toplo,  $t=10$  do 20 min,  $T=50\pm 5$  °C)
4. aktivaciju ( $t=1$  min,  $T=20-40$  °C)
5. fosfatiranje (Fe-fosfat,  $t=3$  min,  $T=50-55$  °C)
6. ispiranje (hladno protočno,  $t=2$  min)
7. pasivaciju ( $t=1$  min,  $T=15-80$  °C)
8. sušenje (vrući zrak,  $T=$ do 95 °C).

Kemijska predobrada vrši se uranjanjem u radne otopine određene koncentracije i temperature u određenom vremenu. Cijeli sustav kada za uranjanje obradaka prikazan je na slici 11.

Ovim postupkom dobivaju se na čeličnim površinama tanke Fe-fosfatne prevlake (0,5-2  $\mu\text{m}$ ).

Da bi se dobila odgovarajuća kvaliteta fosfatne prevlake potrebno je pridržavati se propisanih parametara tehnološkog procesa. Iz tog razloga potrebno je vršiti svakodnevnu kontrolu koncentracija, temperature radnih otopina i vremena trajanja pojedinih faza predobrade.

Nakon kemijske predobrade vrši se kontrola obrađenih površina i to vizualnim pregledom izgleda površine i mjerenjem poroznosti dobivene prevlake [9].



**Slika 11. Prikazuje kade za tehnološki proces kemijske predobrade usmjeren na slici s desna na lijevo u tvrtki „KONČAR Sklopna postrojenja“ [10]**

Nakon toga dijelovi se sortiraju prema dimenzijama i obliku da bi se dobile što veće serije i na taj način bolje organizirala pripremna radnja vješanja na traku.

U slučaju da se na površini dijelova nalaze zaostali tragovi fosfata u obliku finog praha bijele ili žute boje treba ih ukloniti četkama ili krpama koje ne ostavljaju dlačice. Potrebno je obavezno raditi u rukavicama, jer masne kiseline što ih luče ruke razaraju fosfatnu prevlaku. Dijelovi se vješaju na kuke od čelika na nosače lančanog konvejera. Između pojedinih dijelova se ostavlja minimalni potrebni razmak kako se dijelovi ne bi oštetili dotičući jedan drugog.

## **5.2. Nanošenje poliesterskog praha**

Nakon kemijske predobrade dijelovi se prebacuju u dio pogona za plastifikaciju gdje se na njih nanosi sloj praha koji pečenjem otvrdnjava i stvara zaštitnu prevlaku. Radi se o polimernom materijalu definirane granulacije i fizikalnih svojstava. To je homogena smjesa smole, otvrdnjivača i pigmenta.

Postoji vrlo širok izbor polimernog premaznog praha koji se mogu primijeniti za postupak elektrostatskog naprašivanja (nanošenja). To su duroplasti (akrilat, epoksid, nezasićeni poliester), te termoplasti (polietilen, polipropilen, PVC poliamid, zasićeni poliester).

Izbor ovisi o fizikalno-kemijskim karakteristikama polimera i o zahtjevima na zaštitu ovisno o uvjetima eksploatacije dijelova.

Najčešće upotrebljavani prah je epoksidni, ali zbog kredanja pod utjecajem atmosferilija i sunčeve radijacije sve se više zamjenjuje prahom na bazi akrilata i nezasićenih poliester [9].



**Tablica 2. Usporedba svojstva i karakteristika najkorištenijih prevlaka [9]**

	EPOKSID	AKRILAT	NEZASIĆENI POLIESTER
Stabilnost skladištenja	+	0/+	+
Mehanička svojstva	+	0/+	0
Otpornost na atmosferilije	-	+	+
Otpornost na svjetlo	+	0/+	+
Kemijska otpornost	+	0	0
Prionjivost	+	+	+
Tvrdoća (DIN 53153)	do 125	do 111	do 100
Elastičnost (DIN 53152), (DIN 53156)	3-10 mm do 10 mm	10-16 mm do 9 mm	10-16 mm do 7 mm
Kesternichtest (DIN 50018), (60 ciklusa)	0-1 mm	0-1 mm	0-1 mm
Slana komora (ASTM B-117), 500 sati	0-2 mm	2-4 mm	0-2 mm
Vlažna komora (DIN 50017), 180 sati	0-1 mm	0-1 mm	0-1 mm
Slobodna atmosfera (DIN 50019)	jako kredanje	bez kredanja sjaj promjenjen	bez kredanja slabi gubitak sjaja
Temperatura polimerizacije	120-220 °C	160-200 °C	180-200 °C

+(dobro), -(loše), 0(srednje)

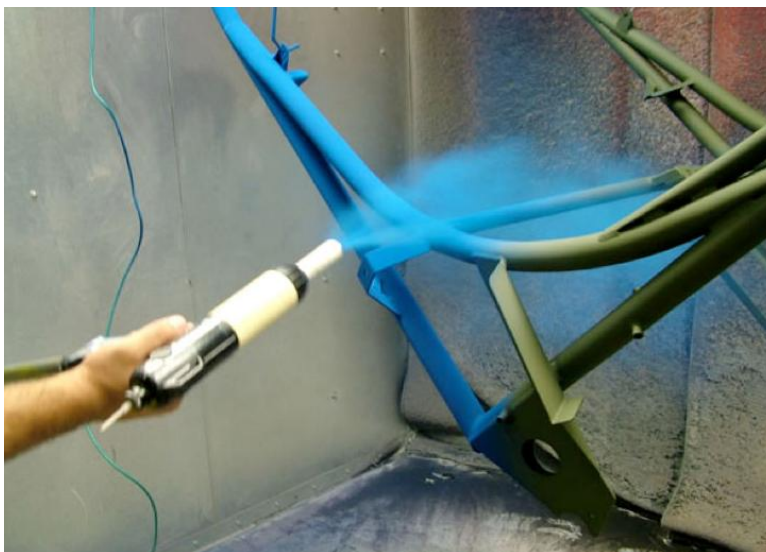
Na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja, u tvrtki „Končar Sklopna postrojenja“ odabran je prah na bazi akrilata zbog njegove dobre otpornosti na kredanje te dobrih mehaničkih i kemijskih svojstava.

Reakcija otvrdnjavanja zbiva se poliadicijom-OH grupe poliesteru i izocijanatne grupe otvrdnjivača na povišenoj temperaturi.

Elektrostatsko nanošenje praha je postupak nanošenja električki nabijenih čestica praha na površinu koja je suprotnog naboja. Za stvaranje električnog polja i nabijanje čestice praha koristi se izvor visokog napona (40-100 kV). Obradak na koji se prah nanosi je uzemljen, a čestice praha se do njega dovode pomoću struje zraka i elektrostatske privlačne sile. Zbog elektrostatskih sila i mehaničkog prljanja čestice praha se zadržavaju na obratku.

Sa povećanjem debljine sloja praha nastaju veće odbojne sile između čestica praha, onih koje su se prihvatile na obradak i onih koje dolaze. Kada se uspostavi ravnoteža između elektroprivlačnih i elektroodbojnih sila prah više ne prljanja na obradak. Na taj način je ograničena debljina sloja zaštitne prevlake, a ravnomjernost debljine sloja ovisi o naponu. Prilikom nanošenja praha na unutarnje površine (kanali, kutije, utori) dolazi do efekta Fradayevog kaveza (prostor bez električnog polja).

Taj efekt se može ublažiti smanjivanjem visokog napona i povećavanjem struje zraka kroz pištolj. Na slici 12. prikazano je elektrostatsko nanošenje praha [9].



**Slika 12. Prikaz elektrostatskog nanošenja praha [11]**

Glavni dijelovi linije za nanošenje praha su:

- lančani konvejer sa mogućnošću promjene brzine od 0,5-2 m/min,
- komora za nanošenje praha sa dva ručna elektrostatska pištolja, generatorom visokog napona, spremnikom za prah i uređajem za povrat praha,
- peć za otvrdnjavanje sa maksimalnom temperaturom do 250 °C.

Predobrađeni dijelovi se na za to određenom mjestu vješaju na transportni lanac koji ih nosi do kabine za nanošenje praha.

Prah se na dijelove nanosi pomoću dva ručna elektrostatska pištolja, a iz spremnika se do pištolja transportira pomoću struje zraka. Na kraju pištolja nalazi se element koji je nabijen pomoću izvora visokog napona, a čestice praha su u direktnom kontaktu s tim elementom i tako se električki nabijaju. Zrak koji se koristi za transport praha mora biti suh i čist od masnoća da ne bi došlo do taloženja praha na stjenke kabine.

Na dnu kabine nalazi se odsis koji ne dozvoljava nagomilavanje praha u kabini. Usisani zrak sa prahom prolazi kroz sustav sita (rekuperator) i vraća se u spremnik praha da bi se ponovno koristio.

Nakon što je prah nanesen dijelovi putuju dalje te prolaze kroz peć (dužina 20 m) gdje se prah tali i otvrdjava. Temperatura u peći je 180-200 °C, a dijelovi se tamo nalaze 20 min što odgovara uvjetima koje traži proizvođač praha.



## 5.4. *Ekonomске prednosti*

Kod elektrostatskog naprašivanja čak 99% praha koji se nije primio za površinu može biti iskorišten i ponovno vraćen u proces. Troškovi gubitka materijala u usporedbi sa tekućim premaznim sustavima su minimalni.

U većini slučajevima prah omogućava pokrivenost u jednom sloju bez dodatnog rada na gotovom komadu. Prethodno nanošenje temeljnog premaza je nepotrebno što štedi vrijeme, a tvrtki stvara dodatne uštede.

Smanjenje troškova za energiju u procesu postiglo se razvojem sastavnih komponenti praha koje ga čine kvalitetnijim što za rezultat ima korištenje manjih peći, skraćanje vremena pečenja i snižavanjem temperature.

Uštede su se postigle i u smanjenju troškova čišćenja, a također su povezane sa spomenutom tehnologijom. Nema potrebe za miješanjem i dodavanjem otapala u različitim omjerima kada se koristi prah kao premaz.

Troškovi prijevoza, skladištenje i sama manipulacija otapalom kao zapaljivom tekućinom vrlo je skupo. Korištenjem praha eliminiraju se troškovi povezani sa zagađenjem zraka korištenjem otapala, vrijeme rada se skraćuje, a nema ni otpada koji je povezan sa otapalima.

Nekorištenjem otapala u proizvodnom procesu eliminiraju se troškove povezane sa sigurnošću na radu koje zahtjeva zakon, a smanjuje se i potreba za protupožarnim instalacijama iako one danas predstavljaju standard te se projektiraju i ugrađuju u novoizgrađene objekte.

Na kraju kada uzmemo u obzir cijenu zaštite jednog m<sup>2</sup> i usporedimo je, u većini slučajeva cijena zaštite prahom je niža u odnosu na klasične premazne sustave [8].

## 6. OPREMA ZA ELEKTROSTATSKO NAPRAŠIVANJE

Kako bi se mogle koristiti praškaste prevlake u procesu zaštite elektrostatskim naprašivanjem potrebno je nabaviti pet osnovnih dijelova oprema:

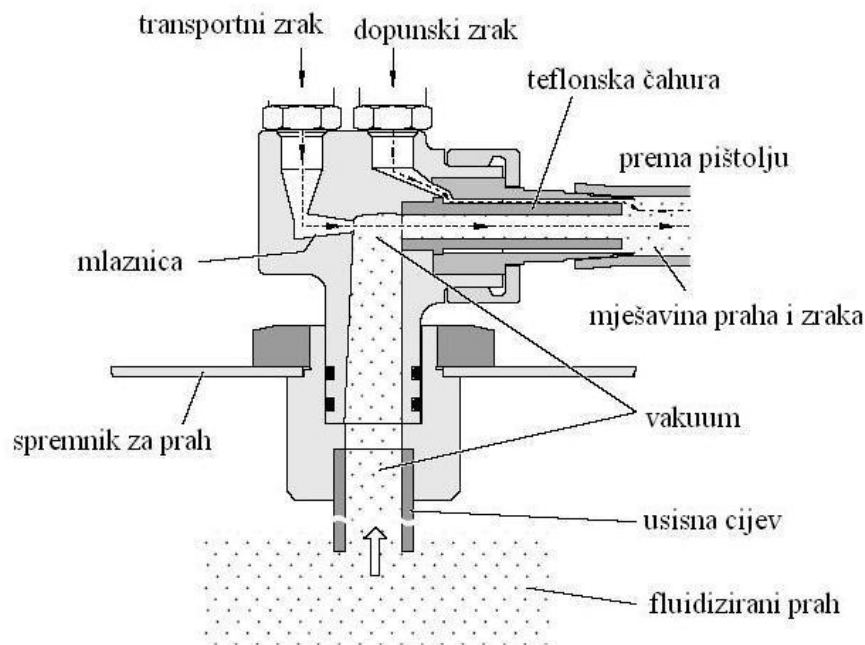
- dobavljač praha,
- pištolj za elektrostatsko naprašivanje,
- elektrostatski naponski izvor,
- komoru za naprašivanje i uređaj za skupljanje praha,
- peć.

### 6.1. Dobavljač praha

Prah dolazi u pištolj za raspršivanje iz dobavljača. Materijal u obliku praha koji je u dobavljaču fluidiziran je zrakom ili gravitacijski pada u pumpu da bi se transportirao do pištolja za raspršivanje.

Pumpa je obično "Venturijeva cijev", kroz koju prolazi komprimirani zrak, stvarajući podtlak koji usisava prah iz dobavljača i tjera ga u crijeva ili cijevi, kao što je prikazano na slici 14.

Zrak se obično koristi za razdvajanje čestica praha kako bi se lakše transportirale i lakše nabijale električnim nabojem. Volumen i brzina protoka praha može se lako podešavati [8].



Slika 14. Prikaz principa rada dobavljača praha [9]

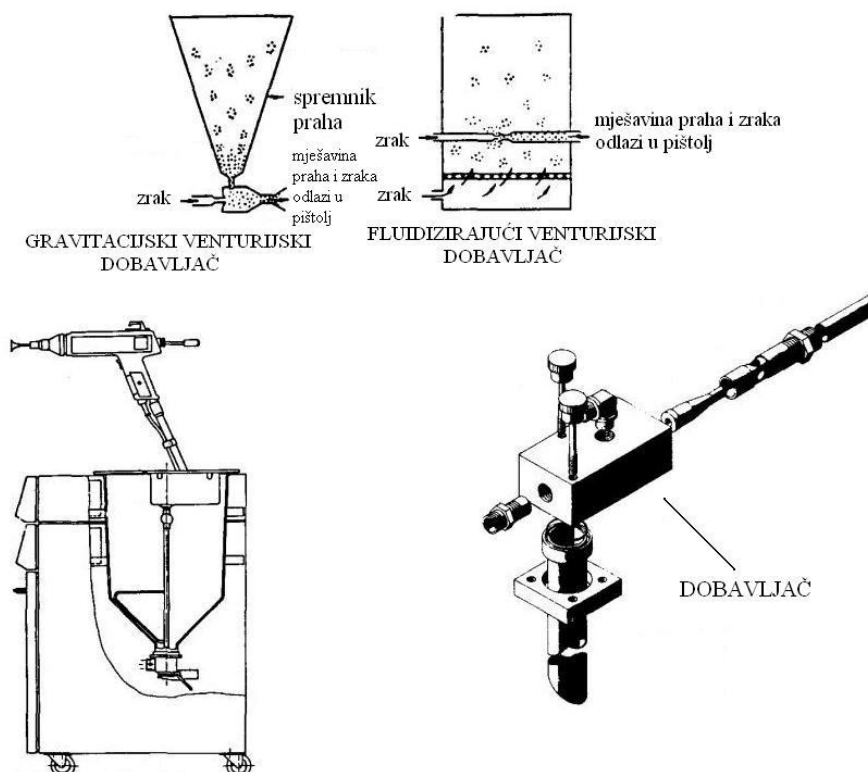
U dobavljaču se koristi zrak, vibracione ili mehaničke mješalice da bi pomogle pri "razbijanju" grumena praškaste mase. To olakšava transport praha te pomaže pri regulaciji volumena i brzine toka praha prema pištoljima za naprašivanje. Neovisno upravljanje volumena praha i zraka pomaže da se postigne željena debljina prekrivnog sloja.

Dobavljač praha ima dovoljan kapacitet da može opskrbiti jedan ili više pištolja za naprašivanje, koji su razmaknuti od 0,5 do 1,5 m jedan od drugog. Dobavljači mogu biti raznih veličina, ovisno o primjeni, broju spojenih pištolja i volumenu praha koji se treba raspršiti u određenom vremenu. Obično se izvode od valjanog lima, a mogu biti montirani do ili spojeni sa uređajem za skupljanje viška praha.

Ovaj uređaj koristi zrak za raspršivanje da bi se olakšalo pumpanje praha prema pištoljima za naprašivanje.

Komprimirani zrak ulazi u komoru koja je na dnu, a između te komore i kućišta dobavljača je membrana (sito), obično od plastike. Komprimirani zrak prolazi kroz membranu i ulazi u kućište dobavljača, gdje se nalazi prah kojeg podiže, miješa i čini fluidnim.

Kada se koristi gravitacijski dobavljač, upotrebljavaju se konični ili ljevčkasti spremnici u kojima se nalazi prah. Pumpa, koja je sastavni dio također funkcionira na principu "Venturijeve cijevi". U nekim slučajevima koriste se vibracione ili mehaničke mješalice da bi se olakšalo usisavanje. Gravitacija spušta prah prema pumpi te fluidiziranje praha nije potrebno, a to se može vidjeti na slici 15. Prah se može slati direktno iz kutije ili kontejnera s prahom koristeći dupli sifon, koji lokalno dovoljno fluidizira prah i omogućuje ujednačeni tok.



**Slika 15. Prikaz dva osnovna tipa dobavljača praha, gravitacijski-gore lijevo i fluidizirajući gore-desno [8]**

U dobavljač se ugrađuju sita kako bi se otklonile eventualne nečistoće, grudice praha i drugi ostaci, a i zbog bolje pripreme praha prije naprašivanja. Ta sita se montiraju direktno u dobavljač, ali i iznad njega da bi se olakšao protok unutar zatvorenog kruga isporuke praha, naprašivanja i prikupljanja viška praha [8].

### 6.1.1. Karakteristike rada dobavljača praha

Kako je dobavljač prvi u nizu u isporuci praha ostalim uređajima, on se treba pravilno montirati i održavati. Nepravilan rad dobavljača odrazit će se na rad ostalih komponenti sustava koje slijede iza njega.

Zrak koji se koristi za fluidiziranje (raspršivanje) i pumpanje praha mora biti čist i suh. Ulje, vlaga, hrđa i strugotine mogu onečistiti prah, a ponekad čak i blokirati rupice u tanjurima za fluidiziranje. To se odražava u lošem fluidiziranju (raspršivanju) i čak može dovesti do pucanja ploha tanjura.

Dobavljači moraju imati odgovarajuće oduške da ne bi došlo do povećanja tlaka. Nedovoljni odušci slabe fluidizaciju i može doći do izbacivanja praha u radni prostor, što stvara probleme jer smanjuje sigurnost i uzrokuje dodatno čišćenje. Dijelovi navedenog uređaja moraju biti uzemljeni, kao i svi metalni i vodljivi "mrtvi" dijelovi (neaktivni dijelovi uređaja) elektrostatskog raspršivačkog sustava da se spriječi nabijanje statičkim električitetom.

Projektiranju i montiranju uređaja treba pristupiti stručno i odgovorno kako se ne bi prevrnuli i izazvali neželjene posljedice.

Pumpe koje se koriste za transport praha od dobavljača do pištolja za raspršivanje trebaju biti redovito kontrolirane i čišćene. Dijelovi gdje prah protiče velikim brzinama, troše se brže zbog pojave erozije. Istrošeni dijelovi uzrokuju lošu kvalitetu i loše upravljanje procesom naprašivanja, tako da je dobro preventivno održavanje osnova za dobar rad čitavog sustava.

Sita ugrađena u u dobavljaču moraju biti čista, pregrade očišćene od nagomilanog praha. Odušci sita koji su tvornički propisani kritična su mjesta jer se smanjuje učinkovitost ako je prevelika razlika u tlaku s obje strane sita.

### 6.1.2. Crijeva za transport praha

Često su crijeva za transport praha zanemarena, a ključni su dio puta do obratka koji se treba elektrostatski naprašiti. Put crijeva treba biti što direktniji, što je moguće skratiti crijeva da je što manja duljina, a potrebno je izbjegavati oštre kuteve i zavoje. Kako bi se izbjeglo oštećivanje, zavoji trebaju biti najmanje polumjera 22 cm, da se izbjegne habanje, erozija unutrašnjosti crijeva uslijed udara čestica praha o stijenu i pad tlaka. Iz tog razloga važna je česta kontrola unutrašnje stijenske kao i vanjskih oštećenja.

Razni materijali se mogu koristiti za transport praha. Kriterij pri izboru je fleksibilnost, otpornost na savijanje, da ne stvaraju tribo-naboji (statički naboj koji se stvara trenjem praha o stijenu crijeva), da ne reagira kemijski s prahom i otpornost na habanje. Kako ima više parametara, a i više raznih prahova, ne postoji "najbolji" materijal za sve [8].

## 6.2. Pištolj za elektrostatsko naprašivanje

Elektrostatski pištolj za raspršivanje praha nabija čestice praha elektrostatičkim elektricitetom (nabojem), oblikuje i usmjerava putanju tih čestica prema obratku kojeg treba naprašiti. Naslagu praha na obratku određuje pozicija pištolja, brzina i oblik putanje čestica i jakost električnog naboja.

Pištolji za elektrostatsko naprašivanje mogu biti ručni (drži ih se u ruci) ili automatski (fiksno montirani), s unutarnjim ili vanjskim nabijanjem ("korona" nabijanje s unutarnjim ili vanjskim visokonaponskim napajanjem) i triboelektričnim (nabijanje trenjem). Sve spomenute varijante imaju svoje dobre i loše strane kod naprašivanja obradaka.

### 6.2.1. Pištolji s unutarnjim i vanjskim elektrostatskim nabijanjem

U pištoljima prah se nabija ionskim bombardiranjem u dijelu blizu elektrode za nabijanje. Elektroda za nabijanje čestica praha je na visokom naponu od 30 do 100 kV, obično negativnom naponu. Taj napon stvara vrlo jako električno polje oko elektrode.

*(Komentar: Električno polje je razlika napona između elektrode i okolnog metala, podjeljen s razmakom između njih. Okolni metal je uzemljen, t.j. na 0 V. Za -30 kV napona elektrode i razmak između te elektrode i okolnog metala, na primjer 1 cm, električno polje će biti  $-30\text{kV}/1\text{cm} = -30.000\text{ V}/0,01\text{ m} = -3.000.000\text{ V/m} = -3.000\text{ kV/m}$  – vrlo jako negativno polje. Stoga zrak mora biti suh, da ne bi došlo do ionizacije vodenih para i eventualno do električnog luka).*

Jako električno polje oko elektrode ionizira okolni zrak tako da se formira "korona" izboj i ionska struja.

*(Komentar: U "korona" izboju negativni elektroni, koji su puno manji i zato puno brži, brzo idu prema pozitivnom polu, a to je okolni metal na 0 V. Vrlo spori, jer su puno veće mase, pozitivni ioni zraka pune prostor gdje prolaze čestice praha i nabijaju ih pozitivnim nabojem, "lijepo" se za čestice praha jer su one na naponu 0 V).*

Ioni su usmjereni električnim poljem prema česticama praha, koje ih time bombardiraju, prenoseći tako naboj na čestice praha. Nabijene čestice praha su usmjerene prema obratku prije svega srujom zraka, a u manjoj mjeri elektrostatskim silama. Čim nabijene čestice praha dođu dovoljno blizu obratku koji se naprašuje (od prilike 10 mm), uzemljeni obradak privlači elektrostatski nabijene čestice praha koje prijanjaju na površinu obratka.

Bez obzira na tip pištolja koji se upotrebljava, prijenos dobro nabijenih čestica praha na udaljenosti od 10 mm je osnovno za efikasno i potpuno prekrivanje obratka.

Pištolj s vanjskom "koronom" je najrasprostranjeniji i najviše se upotrebljava. Upotrebljava se za ravne plohe i linije visokih brzina, s dobrom ujednačenošću i visokom prijenosnom efikasnošću. Djelotvornost u pokrivanju šupljina (efekt Faradayev kavez) poboljšana je zadnjih godina, ako se pazi na raspored i smještaj pištolja. Puno efikasniji tip s potpunim prostornim raspršivanjem upotrebljava se u skoro 80% automatskih pištolja.

Kako je djetvornost u šupljinama (efekt Faraday kaveza) ovisna o tome kako prah ulazi u šupljine predmeta, uspjeh je određen rasporedom i aerodinamikom, načinom transporta, prije nego elektrostatskim efektom. Nekada se je isključivao visoki napon pištolja da bi se pokrile površine u šupljinama (Faradayev kavez), što se pokazalo neproduktivno jer je prah manje nabijen i time slabije sposoban da se taloži na obratku [8].

Držeći napon što je moguće višim i poboljšati aerodinamiku transporta, zadržava se visoki naboj čestica praha, čime se dobiva veća efikasnost pokrivanja šupljina.



Varijacija debljine depozita upravlja se brzinom protoka praha, pozicijom pištolja za naprašivanje, rasporedom, brzinom toka praha, brzinom linije, geometrijom predmeta i količinom naboja na česticama praha. Karakteristike praha koji se upotrebljava isto tako utječu na rezultat. Važni faktori su: vrsta materijala, srednja veličina i vjerojatno najvažnije, oblik krivulje distribucije čestica praha.

### 6.2.2. Pištolji s unutarnjim nabijanjem

U pištoljima s unutarnjom "koronom" proces nabijanja čestica je ionskim bombardiranjem, jednako kao i s vanjskom "koronom". U pištolju s vanjskom "koronom", nabojna elektroda (koja je na višem naponu) ima za suprotnu elektrodu vanjski uzemljeni dio. Pištolj s unutrašnjom "koronom" ima uzemljenu elektrodu unutar pištolja. Rezultat toga je da skoro nema vanjskih silnica električnog polja te stoga malo ili ništa većinske ionske struje. Tako reducirane silnice električnog polja omogućavaju prodor u šupljine (efekt Faraday kaveza) jer vanjsko električno polje doprinosi malo u skretanju čestica od željenog smjera ulaska u šupljine. Treba imati na umu da je transport praha u šupljine skoro potpuno aerodinamički proces. Smanjena ionska struja umanjuje tendenciju povratne ionizacije što omogućava stvaranje glatkih površina s manje "kratera" ili "zvijezdica". Smanjenje povratne ionizacije isto smanjuje povratno ograničenje elektrostatičkog prekrivanja prahom i omogućava deblji sloj filma u području 25  $\mu\text{m}$  do 38  $\mu\text{m}$ , što se teško postiže sustavima s vanjskim "korona" nabojem.

Pištolje s unutrašnjim "korona" nabijanjem treba češće održavati zbog potrebe da uzemljena elektroda bude čista i bez naslaga praha, a i zbog kompliciranijih i osjetljivijih dijelova.

### 6.2.3. Pištolji s triboelektričnim nabijanjem

Triboelektrični pištolji nemaju visokonaponsko napajanje. Oni funkcioniraju pomoću unutrašnje geometrije tako da zrak struže čestice praha o stijenku pištolja, prenoseći time naboj putem trenja. Naboj je skoro uvijek pozitivan. Ako se tribo pištolji upotrebljavaju s "korona" pištoljima, oni moraju imati isto pozitivni polaritet.

Općenito, količina nanesenog praha je manja s tribo pištoljima te treba više pištolja u liniji. Međutim neki, bolji i moderniji, mogu postići produktivnost i visinu naboja sličnu pištoljima s vanjskom "koronom", uz uvjet adekvatnog izbora praha.

Kako proces nabijanja ovisi o mehaničkim silama koje stružu čestice o stijenci te kako je prijenos naboja ovisan o kemijskim kompatibilnostima praha i materijala pištolja, proces je osjetljiv na raspon veličina čestica praha i o kemiskom sastavu praha.

Više kompanija rješavalo je taj problem time što su našli njima odgovarajući tribo prah. Međutim postoje prahovi koji se ne mogu raspršiti tribo pištoljem, kao npr. suhe metalne mješavine. Isto tako pojedini ralovi se ne mogu upotrijebiti ukoliko nisu izričito naznačeni za tribo primjenu. U svakom slučaju korisnik mora usko surađivati sa svojim dobavljačem praha kada su u pitanju tribo pištolji.

Kako nema vanjskog električnog polja, a ni većinske ionske struje, tribo pištolj ima sve prednosti kao pištolji s unutrašnjim "korona" nabijanjem. Intervali održavanja su puno dulji te nema unutrašnju kompliciranu konstrukciju [8].

#### 6.2.4. Unutarnji u odnosu na vanjski izvor napajanja

U pištoljima s "korona" nabijanjem (bilo vanjsko ili unutarnje nabijanje) izvor visokog napona može biti ili unutarnji ili vanjski. Svaki ima svoje prednosti i mane.

Unutarnji izvor dobija niski napon iz vanjske upravljačke jedinice putem tankog, fleksibilnog i lakog kabela. Unutarnji generator podiže unutar pištolja taj niski napon do potrebnih 30 – 100 kV. U vanjskim izvorima, visoki napon se generira vani i vodi u pištolj s debljim, krućim i težim visokonaponskim kablom.

Smještanje generatora u pištolj pogodno je s obzirom na dovodni kabel, ali čini pištolj težim te za ručne pištolje otežava zahtjev da pištolj bude lagan i kompaktno. U primjenama gdje može doći do sudara s obratkom, s okolnim strojevima ili je prostorija na visokoj temperaturi, mogu se oštetiti visokonaponske komponente unutar pištolja. Nasuprot tome, vanjski izvori nemaju praktično ograničenja volumena ili težine, a i zaštićeni su od oštećenja.

Inženjer s praksom znat će upotrijebiti oba sustava kako bi dobio jednako dobre rezultate.

#### 6.2.5. Iskustva iz prakse

Osim pravilnog izbora i rasporeda dobavljača, crijeva i pištolja za raspršivanje, ima još i drugih čimbenika koji i te kako mogu utjecati na rezultat. Važan je i sam prah, naročito veličina i raspodjela čestica.

Mnoga iskustva iz praksa pokazuju da je oblik krivulje raspodjele čestica važniji od veličine čestica. Histogram raspodjele veličina čestica treba biti što suženiji oko maksimuma. Široka, spljoštena raspodjela s velikim postotkom grubljih i finijih čestica rezultirat će brojnim neželjenim svojstvima, kao loša fluidizacija (raspršivanje) i niži učinak nanošenja. Smatra se da prisutstvo krupnih čestica smanjuje nabijanje manjih čestica.

Za glađe, visoko sjajne površine treba finije mljeveni prah. Međutim, važno je da ne samo veličina, već i oblik krivulje raspodjele bude pravilno odabran.

U pištoljima s tribo nabijanjem, prah ima kritičnu ulogu. Dodaci za suhe mješavine poboljšavaju tribo nabijanje tako da je bolje promjeniti odnos mješavine da se dobije homogeni materijal.

U prošlosti vodljivost se smatrala kao dobra mjera za kapacitet nabijanja praha. Danas se smatra da to nije osnovano.

Kod prekrivanja prahom postoji pojava smanjenja debljine filma i time jednolično pokrivanje. John Hughes, s Fakulteta u Southamptonu, Engleska, ustanovio je da je tome uzrok stvaranje povratnih iona od već nanesenog sloja praha. Ti ioni imaju tendenciju da izbijaju nabo (smanjuju naboj) praha koji dolazi i time sprječavaju njegovo nanošenje. Ta povratna ionizacija je isto uzrok za greške u stvaranju filma kao što je "narandina kora", "kraterići" i "zvijezdice". Ta povratna ionizacija može se smanjiti ako se odmaknu pištolji, smanji napon, upotrebom pištolja s unutarnjim nabijanjem ("korona" ili tribo) ili nanositi prah u tanjim slojevima s 10 do 15 sekundi "relaksacije" između nanošenja [8].

Kemijski sastav praha i distribucija veličine čestica praha također imaju u tome svoju ulogu.

Bez obzira da li proces raspršivanja praha ovisi o elektrostatici te da se bez nabijenog praha ne može raditi, ipak proces raspršivanja praha je oko 50% elektrostaticki problem. Ostatak ovisi o protoku zraka koji formira putanje i transportu nabijenih čestica praha na obratke.

„Faradayev kavez” je po definiciji prostor gdje nema prodora električnog polja. Pažljivim promatranjem konstatira se da šupljine koje djeluju kao „Faradayev kavez” također su i prostori gdje je teško uspostaviti protok zraka. To su područja gdje prah teško ulazi zbog aerodinamičkih razloga. Ako se prah ne može upuhati u neki prostor, taj se prostor ne može ni njime prekriti.

Prijašnja preporuka da se smanji napon kako bi se doskočilo efektu „Faradayovog kaveza“ je u biti liječenje simptoma, a ne uzroka problema koji nastaje.

"Zamotavanje" je isto smatrano elektrostatskim fenomenom. Svakako, bez naboja ne bi bilo "zamotavanja".

Međutim nije elektrostatika ta koja transportira prah, koja čini da se zaobiđe rub i dođe s druge strane ravnog panela ili da prah dođe do nedostupne stražnje strane predmeta oblika cijevi. Zapravo aerodinamika i turbulencije omogućavaju to zaobilaznje [8].

### 6.2.6. Ručni pištolj za nanošenje praha PG 1 (Koristi se u „KONČAR Sklopna postrojenja“)

Izrazito lagan ručni pištolj PG 1 sa integriranim uspostavljanjem visokog napona ima vrlo dobru mogućnost prodiranja zahvaljujući patentiranoj, ozračenoj centralnoj elektrodi.

Pištolj je rastavljiv, stoga pogodan za jednostavno održavanje i popravke.

#### Tehnički podaci ručnog pištolja PG 1 [9]:

Nazivni ulazni napon: 10 V efektivno

Frekvencija: 17 kHz

Nazivni izlazni napon: 98 kV

Polaritet: negativan (opcija-pozitivan)

Max. izlazna struja: 100  $\mu$ A

Indikator izlaznog visokog napona: LED

Zaštita od paljenja: EE x 5 mJ

Homologacija: EN 50050 i PTB test br. Ex-91.C.9102

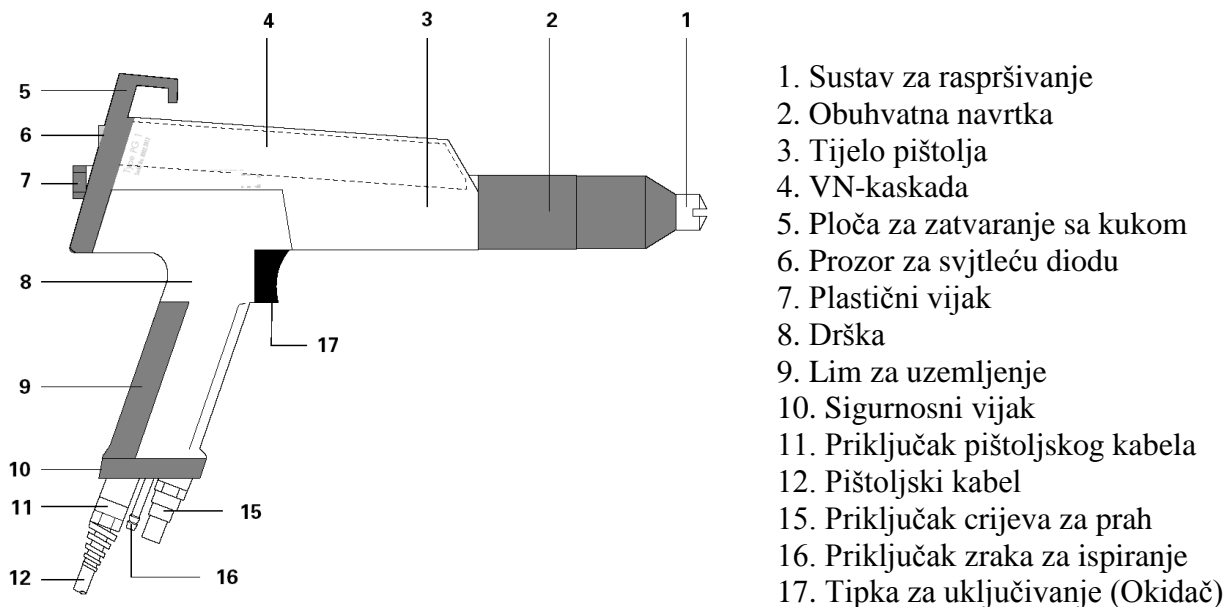
PTB Godina testa 10/1991

FM br. J.I. OW 7A6.AE (7264)

Godina testa 10/

Priključak: PG 1 smije se priključiti samo na upravljački uređaj PGC 1 (u dogovoru sa tvrtkom ITW Gema također i na PGC 2, PGC 3 ili RGC - HV).

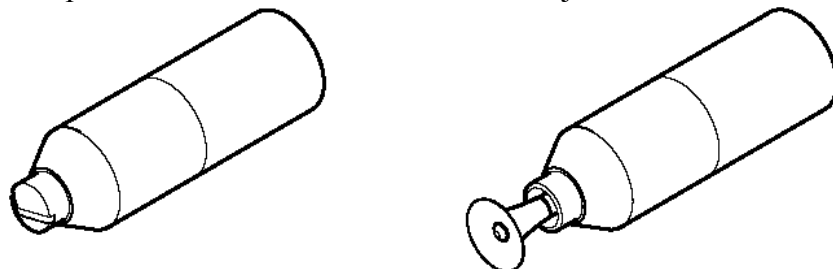
Ručni pištolj PG1 prikazan je na slici 16.



Slika 16. Sastavni dijelovi ručnog pištolja za nanošenje praha [9]

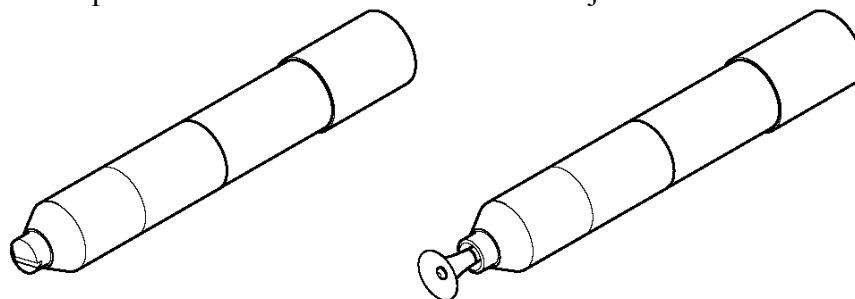
### 6.2.6.1. Nastavci za raspršivanje (ručnog pištolja PG 1)

**40 mm mlaznica** sa plosnatim mlazom sa ozračenom srednjom elektrodom



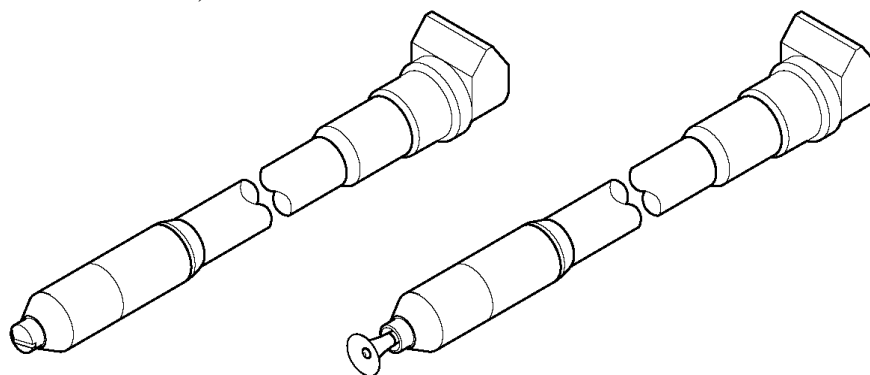
mlaznica sa okruglim mlazom ozračenim punim tanjurom i srednjom elektrodom

**150 mm mlaznica** sa plosnatim mlazom sa ozračenom srednjom elektrodom



mlaznica sa okruglim mlazom sa ozračenim punim tanjurom i srednjom elektrodom

**300 ili 500 mm produžena mlaznica** sa plosnatim mlazom sa ozračenom srednjom elektrodom (ne pripada standardnom setu)



produžena mlaznica sa okruglim mlazom sa ozračenim punim tanjurom i srednjom elektrodom

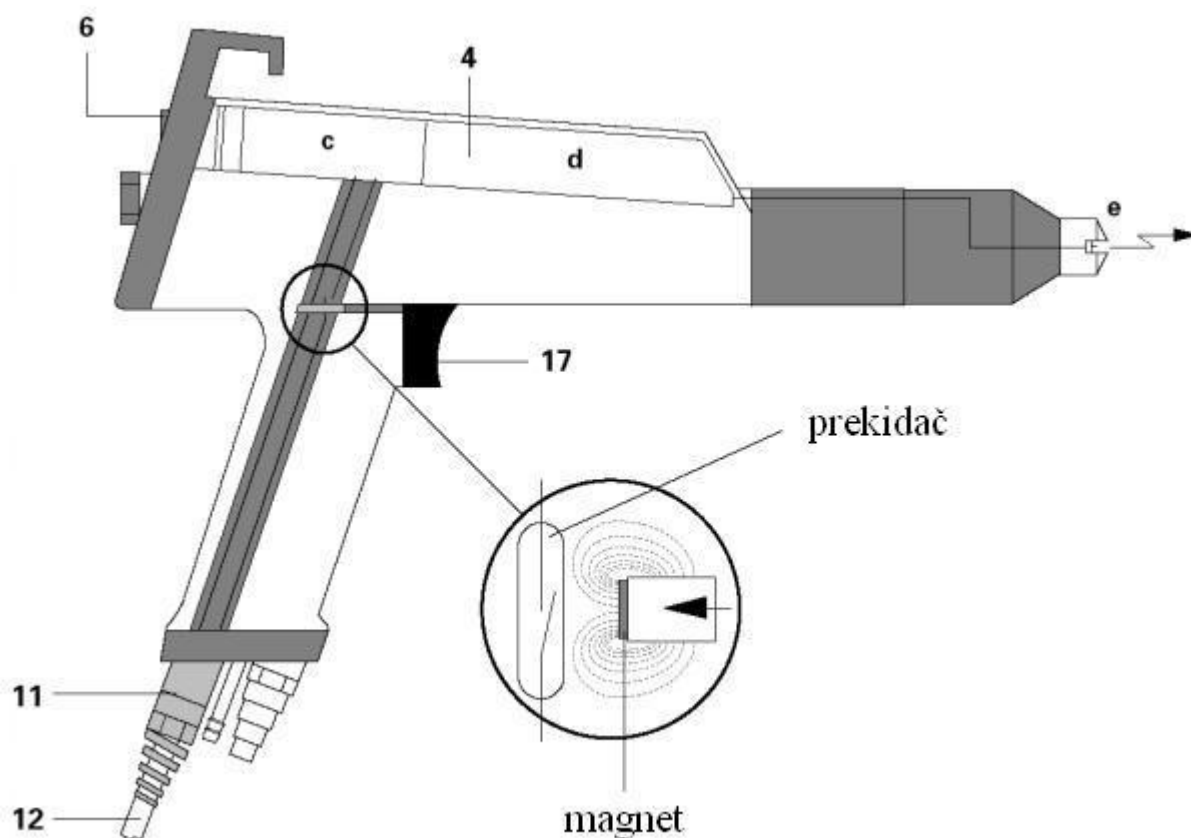
Slika 17. Prikaz različitih nastavaka za raspršivanje praha [9]

### 6.2.6.2. Uspostavljanje visokog napona u ručnom pištolju PG 1

Upravljačka jedinica isporučuje visokofrekventni niski napon. Koji se provodi kablom (12) i priključkom pištolja (11) u skupljač prema visokonaponskoj kaskadi (4).

U kaskadi (4) se u prvom koraku ovaj niski napon transformira u visoki (c). Ovaj primarni visoki napon se u drugom koraku usmjerava u jednom smjeru u stvarnoj kaskadi (d) i stepenasto povećava, dok na kraju ne postigne zahtijevani visoki napon. Visoki napon se tada vodi u umetke za raspršivanje prema elektrodi (e) kako prikazuje slika 18.

Djelovanjem visokog napona na upravljačkoj jedinici mijenja se također intenzitet svjetla svjetleće diode (6). Time korisnik ima sigurnost o postojanju visokog napona, a time i mogućnost kontroliranja da li uređaj pravilno radi.



Slika 18. Prikazuje stvaranje visokog napona u pištolju [9]

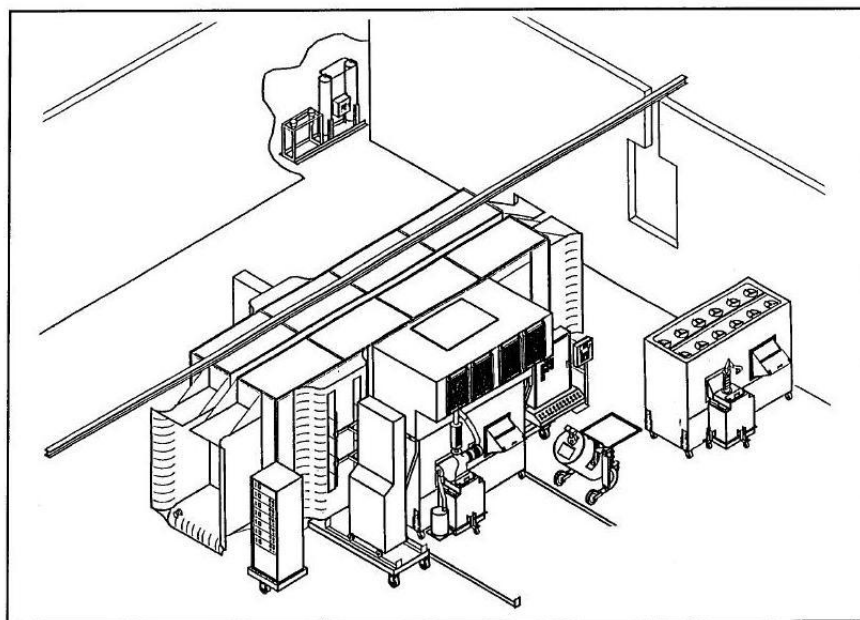
### 6.3. Komora za naprašivanje i sustavi za skupljanje viška praha

Učinkovitost skupljanja viška praha jedan je od najvažnijih aspekta sustava za elektrostatsko raspršavanje praha. Od ukupne količine koja izlazi iz pištolja za raspršivanje 30 do 90% prijanja na površinu predmeta. Suvišno raspršeni prah treba se učinkovito skupiti i ponovo upotrijebiti sustavom za skupljanje viška praha, kako bi učinkovitost cijelog sustava za prekrivanje prahom bila visoka.

Tok zraka je osnovni način u skoro svim metodama za skupljanje viška praškastog materijala. Sustav za skupljanje mora zadovoljiti više uvjeta kao:

- blokirati višak praha da se ograniči dodir s radnicima i umanjiti čišćenje prostorija
- učinkovito razdvajanje praha od zraka
- olakšati i prilagoditi vrijeme potrebno za promjenu praha
- usmjeravati tok zraka u prostoru gdje se raspršuje kako bi se povećala učinkovitost nanašanja
- smanjiti što više nivo radne buke zbog zaštite radnika
- olakšati i prilagoditi vrijeme montaže
- pogodan i ugodan uvjet rada radnika za vrijeme funkcioniranja pogona.

Sustav za prikupljanje viška praha mogu biti jednostavni ili složeni ovisno o zahtjevu. Slika 19. prikazuje komoru u koju je integriran izmjenjivač praha. Kakva god da je primjena, dobro projektiranje koje se zasniva na potpunom razumijevanju fizikalnih i inženjerskih osnova, osnovno je za efikasan i dugotrajan rad cijelog sustava.



Slika 19. Komora sa integriranim sustavim za izmjenu praha [8]

Važan element komore za raspršivanje je materijal od kojeg je napravljena. Obično se komore rade od polipropilena, nehrđajućeg čelika ili pocinčanih čeličnih panela, a neke su kombinacija svega toga. Postoji i posebna konstrukcija s polietilenskim folijama koje se mogu maknuti [8].

Kriterij za izbor su: utjecaj na učinkovitost nananšanja (da li je komora vodljiva ili nije), mogućnost lakog čišćenja (kako jako se prah lijepi za zidove komore), vidljivost unutar komore (koliko je materijal providan i propušta li vanjsko svjetlo), a isto tako kolika je mehanička čvrstoća, trajnost i mogućnost popravka s obzirom na veličinu komore i specifičnost primjene.

Otvori za ulaz predmeta za raspršivanje trebaju biti dovoljni da omoguće ulaz i najvećih predmeta. Otvori sustava za automatsko i ručno raspršivanje trebaju osigurati dovoljan pristup i trebaju biti pravilno orijentirani za najbolju učinkovitost. Treba predvidjeti izlaze za tokove zraka koje stvara oprema za raspršivanje. Otvori na stijenkama kućišta gdje su ti otvori trebaju imati prikladnu formu i rubove kako bi se smanjile "mrtve zone" u prostoru za raspršivanja, gdje bi se prah mogao nagomilati.

### **6.3.1. Gravitacijska komora s ciklonskim skupljanjem viška praha**

U ovom sustavu otprilike 50% suvišnog praha pada gravitacijom natrag u kanal dobavljača, a ostatak se odvodi u sustav za ponovno prikupljanje. U ovom sustavu za prikupljanje praha ciklonski separator, koji se sam čisti, ima učinkovitost skupljanja viška od 90 do 95%. Mali postotak koji ostane u zračnom toku na izlazu iz ciklonskog prostora, izdvaja se u zadnjem filteru prije nego se zrak vrati u komoru za raspršivanje. Za konstrukciju stijenki tih komora obično se koristi hladno valjani pocinčani lim ili nehrđajući čelik.

Upotreba učinkovite komore za raspršivanje, s ciklonom koji se sam čisti, omogućava neograničeni broj promjena praha bez dvostrukih uređaja za filtriranje.

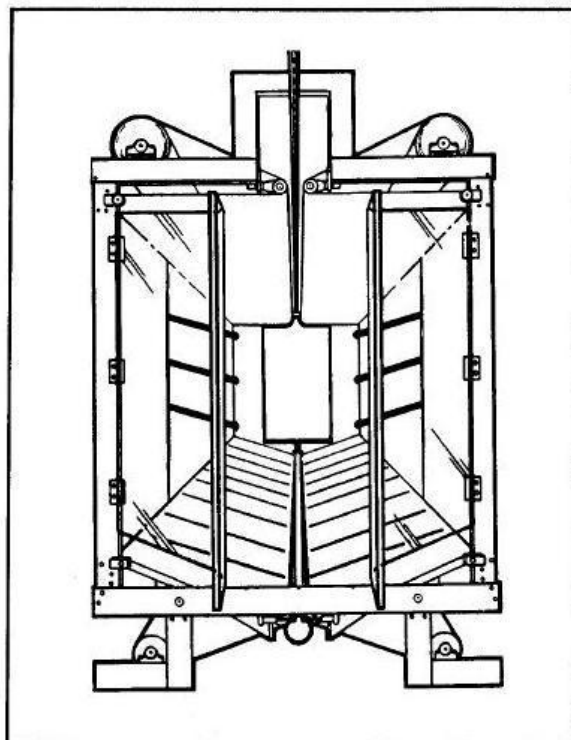
Kod komora sa skupljanjem viška pomoću gravitacije dio viška praha vraća se direktno u dobavljač putem gravitacije, bez korištenja sustava za ponovo prikupljanje praha.

Ovakva konstrukcija komore omogućava pokrivanje predmeta kao što su: platforme kosilica trave, razna kućišta, odljevci itd.).

### **6.3.2. Komore za brzu promjenu praha s ciklonskim skupljanjem**

U toj konstrukciji zidovi komore nisu od metala ili od krute plastike, već su od tanke plastične folije koja je već s držačima kao što prikazuje slika 20. Kada se želi promjena praha, pneumatski motori uklone plastične zidove, koristeći držače. Time se eliminira ručno skidanje zidova, kada se pojavi potreba za rad s drugim prahom, ova konstrukcija komore omogućava da komora radi s drugim prahom već za nekoliko minuta. Čim su nove folije na mjestu, jednostavno se isjeku u njima otvori za radnika ili za automatske pištolje [8].





Slika 20. Komora za brzu promjenu praha [8]

Te se komore mogu upotrebljavati ili s ciklonskim prikupljanjem praha ili sustavom s ulošcima. Razni predmeti mogu ući u te komore, gdje po gornjem dijelu ide kovejer koji transportira predmete kroz komoru.

Nasuprot komorama koja koriste gravitacijsko skupljanje, ove komore šalju tok zraka s ostatkom praha u uređaj s ciklonskim skupljanjem, a potom se prah vodi u odvojeni sustav za skupljanje.

### 6.3.3. Komore za horizontalno pokrivanje prahom

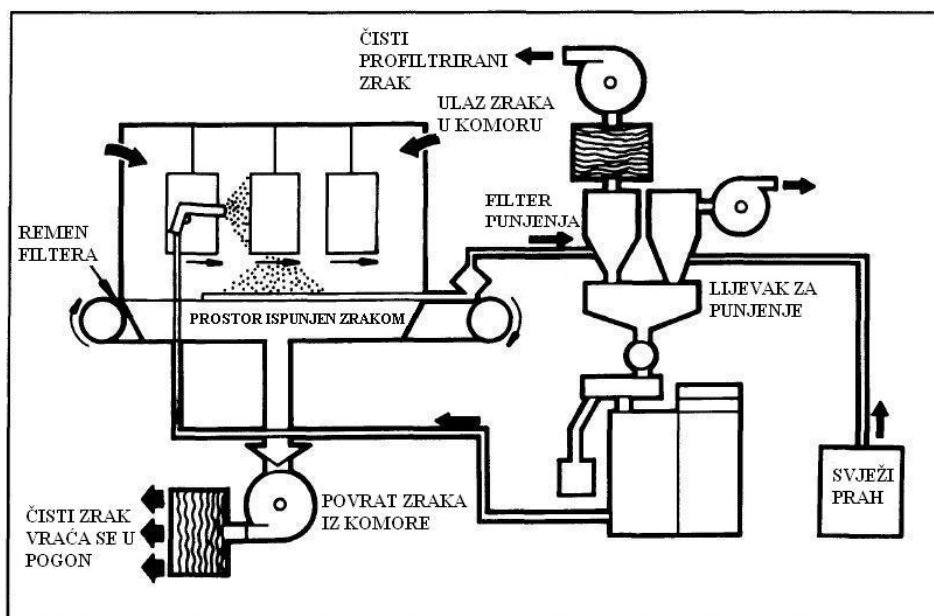
Ove komore se upotrijebljavaju kada se žele prekriti sve površine osim jedne. Površina koja se treba maskirati stavlja se licem prema dolje na pomičnu traku konvejera, koji ne samo da transportira predmete kroz komoru, već osigurava uzemljenje predmeta na nulti potencijal. Ako je dobro konstruiran, ovaj sustav eliminira dodatan posao zaštićivanja i ovješnja. Predmeti se mogu slagati i podizati s trake ručno ili automatski. Koriste se čak automatski vibracioni dodavači predmeta za postavljanje na traku.

Ova se konstrukcija komora može koristiti za predmete kao što su: čeljusti disk-kočnica, podložne pločice, matice i sl.

### 6.3.4. Komore s trakom

To je tip komora, s pokretnom trakom koja prolazi po dnu komore kao što je prikazano na slici 21. Konstrukcija ove komore koristi beskonačnu traku (*od industriskog pletiva*) koja putuje po dnu komore. Višak praha se usmjerava prema traci putem strujanja izlaznog mlaza zraka [8].

Nabijene čestice prijanjaju (*elektrostatski*) na traku, a na kraju komore se prikupljaju usisnom glavom. Nakon što se prah skinе s trake, šalje se u sustav za skupljanje da se odvoji od zračne struje i pripremi za ponovnu uporabu. Kao i druge komore, ove komore mogu se upotrijebiti za razne predmete i s kovejerima koji se nalaze u gornjem dijelu.



Slika 21. Shematski prikaz komore s pokretnom trakom [8]

### 6.3.5. Komore s lančanim konvejerom

Ovaj tip komora skuplja preostali prah filter ulošcima. Koristi se za pokrivanje predmeta koji kontinuirano prolaze nošeni lančanim kružnim konvejerom. Konvejer je montiran na podu kućišta i koristi pokrivke pod tlakom da ne bi prah ušao unutar konvejera za vrijeme rada. Predmeti koji se pokrivaju s ovim tipom lančanog konvejera su: uljni filtri, kućišta motora, kutije, boce, baloni itd. Većina tih predmeta je jednostavnog oblika i istodobno rotiraju dok prolaze da bi se prekrili prahom sa svih strana.

### 6.3.6. Komore sa straničnim tokom

U komorama sa straničnim raspršivačem omogućen je efikasan i fleksibilan rad, bilo s ručnim ili automatskim pištoljem za nanašanje praša. Koristeći tehnologiju filterskih uložaka, dobiva se ekonomičan i efikasan pogon.

Komora ima filter, kolektorski modul na kotačima. Vertikalno montirani filterski ulošci koriste povremeni impuls zraka u suprotnom smjeru da bi se spriječilo preveliko nagomilavanje praša, a i povećala trajnost uložaka. S poboljšanim čišćenjem modul potpomaže stvaranje maksimalnog protoka zraka tijekom čitavog rada pokrivanja te time optimalnu učinkovitost. Modul kolektora može se brzo izvaditi što omogućava lagan pristup kod čišćenja i kod promjena praša.

U vanjskom je dobavljaču naprava koja mjeri nivo praša te se njom automatski upravlja protok praša od sakupljača viška praša natrag u dobavljač. To poboljšava fluidiziranje praša, a time i optimalno pokrivanje predmeta [8].

### 6.3.7. Komore sa sustavom za sakupljanje praha

Jedan od sustava su komore koje sadrži sustav za raspršivanje i sakupljanje praha. Zrak treba zadržati i prikupiti višak praha, filtrirati se kroz primarne i sekundarne filtere te se vratiti natrag za ponovnu upotrebu kao čisti zrak. Poluvodički kontroleri potpuno automatski upravljaju čišćenje filtera i ponovu upotrebu viška praha, čime se postiže pouzdan rad.

Kako je u tim komorama tok zraka "odozgo prema dolje", filter/sakupljač je direktno ispod komore za raspršivanje kako bi se postigla maksimalna učinkovitost u postupku prekrivanja. Smjer zraka prema dolje omogućava višku praha da prirodno klizi po površini predmeta, što omogućava ujednačeno prekrivanje i povećava radnu učinkovitost.

Strujanje zraka prema dolje također omogućava bolje korištenje podne površine te je tako olakšan pristup sa svih strana komore, bilo za ručne ili za automatske pištolje. Modul sakupljača praha se lako izvadi, što olakšava čišćenje i održavanje, a uz to brzu i laganu promjenu praha.

## 6.4. Sustavi za skupljanje praha

U sustavu za skupljanje praha tok zraka mora imati dovoljnu brzinu kroz otvore komore da bi uspio prenijeti prah (*kod premalih brzina prah bi pao i taložio se na podu*). Prema tome veličina sustava za skupljanje je određena uglavnom površinom otvora kućišta. Sustav za skupljanje, odvajanje i preradu viška raspršenog praha koristi jednu i više od ranije navedenih tehničkih postupka. Koriste se dva tipa komora s ulošcima, ovisno o veličini predmeta koji se trebaju prekriti i o broju pištolja.

### 6.4.1. Filter-ulošci s otvorenim kolektorom

To je najrasprostranjeniji i najučinkovitiji način skupljanja viška praha. Otvoreni kolektor se odnosi na konstrukciju koja je otvorena prema van (*jedna stranica*) kako prikazuje slika 22. Prah se odvaja od zračne struje prolaskom kroz cilindrične filtere s kojih se skida mehanizmom za pulsiranje toka, na način da pošalje impuls zraka u suprotnom smjeru. Prah koji tako otpadne s površine filtera pada u dio sakupljača te se tretira kako da bi se vratio u uređaj za raspršivanje. Zrak koji je prošao kroz filter-uloške, prolazi kroz sekundarni filter radi otklanjanja finih čestica praha prije nego što se zrak vrati natrag u radni dio opreme.

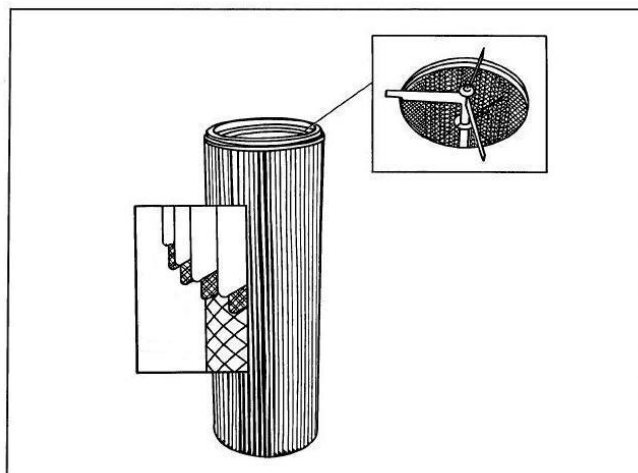
Učinkovost filterskih uložaka ovisi o nekoliko ključnih faktora.

Za najučinkovitije čišćenje s minimalnim gubicima, filterski uložak treba imati maksimalnu radnu površinu. Tradicionalna mjera površine propuštanja je zrak-tkanina (*površina između niti tkanine*).

Ovisno o konstrukciji, dijelovi koji su tijesno pribijeni neće biti dostupni za prolaz toka zraka s prahom. Neki filteri su zatvoreni u perforirano kućište (*fina papir koji filtrira*), da bi se zaštitio od pucanja, ali to smanjuje efektivnu površinu filtera.

S novim, visoko otpornim poliester filterima, moguće je eliminiranje zaštitnog perforiranog kućišta.

Učinkovitost filtera se mjeri s obzirom na danu veličinu čestica praha i statičkim padom tlaka koji filter uzrokuje. To su dvije važne mjere potencijalne učinkovitosti filtera [8].



Slika 22. Prikaz presjeka Filter-uloška s otvorenim kolektorom [8]

#### 6.4.2. Mehanizam za pulsno preokretanje zračnog toka

Filter se čisti tako što se naglo promjeni tlak unutar njega. To se postiže ubacivanjem jednog impulsa (*impuls katkog trajanja, zračni udar, kao udar vjetra*) komprimiranog zraka koji ispuni unutrašnji dio filtera, čime se zatvore svi njegovi otvori. Dobro dimenzioniran mehanizam za čišćenje vrlo je bitan za pravilan rad sustava skupljanja praha putem filtera.

Dobra konstrukcija ulaznog dijela sakupljača treba imati ulazne prepreke da bi se smanjile turbulencije i da bi se zrak natovaren prahom pravilno raspodijelio kroz filter. Dobar ulaz je bitan da ne bi došlo do nedostatka praha u dijelu za raspršivanje i da bi se u potpunosti koristili filteri.

#### 6.4.3. Držači filter-uloška

Držać filterskih uložaka smanjuje površine koje treba zabrtviti i povećava korištenje filterske površine. Najčešća montaža uložaka je vertikalno ovješeno, bilo pojedinačno ili u parovima, modulima koji se izvlače sa strane. Takva montaža smanjuje mogućnost da bočni filteri povuku prah koji je oslobođen zračno-pulsnim čišćenjem susjednih filtera.

Montaža sa strane smanjuje potrebu da dno komore bude povišeno. Uložci se mogu montirati i horizontalno (obično u parovima) ili ispod prostora za raspršivanje, ali u montaži gdje je tok zraka prema dolje ili u montaži za stranični tok zraka.

Kada su filteri montirani horizontalno sa straničnim tokom zraka, filteri su pomaknuti (*razmaknuti jedan prema drugome, ne u liniji*) kako bi se smanjila tendencija da se prah koji se oslobodi od višeg reda filtera, padne i ponovo se nataloži na nižem redu filtera [8].

## 6.5. Promjena praha

Promjena praha zahtjeva određene radnje koje su zajedničke za sve tipove oprema. Pištolji se trebaju ispuhati koristeći komprimirani zrak, a ponekad se trebaju i rastaviti. Crijeva za dovod praha trebaju se propuhati komprimiranim zrakom, a u pojedinim slučajevima i zamjeniti. Pumpe se također čiste komprimiranim zrakom. Zidovi komore trebaju se očistiti, najčešće s ručnim brisačem za stakla, pažljivim brisanjem prema dolje. Za to vrijeme ventilator koji izvlači zrak iz komore treba biti u pogonu. Brzina kojom se može promjeniti prah ovisi o prilagodljivosti sustava za skupljanje praha. Ako se želi brza promjena, ponekad je potrebno imati duple dobavljače i sita. Kada vrijeme nije problem ili ima više komora, jedan sakupljač praha biti će dovoljan, ali se sve površine koje su bile u kontaktu s prethodnim prahom moraju očistiti.

Nekada je promjena praha trajala mnogo dulje i stvarala je veliki problem, ali proizvođači opreme učinili su potrebna poboljšanja kako bi to vrijeme smanjili. Jedno od rješenje je da se udvostruči linija za nanošenje praha. Kada treba promjeniti prah, linija koja sadrži dotadašnji prah se zaustavlja, a druga se pušta u rad s drugim prahom. To omogućava da linija koja je zaustavljena bude očišćena i pripremljena za slijedeći prah. Broj dodatnih linija ovisi o tome koliko različitih prahova treba nanositi i koliko često.

Ako je samo jedan sustav za nanošenje, tri podsustava zahtijevaju pažnju.

Prvi je podsustav za nanašanje praha (pištolji za raspršivanje, cijevi za dovod praha, injektori i dobavljači). Njih treba ili očistiti ili zamijeniti.

Drugi podsustav je unutarnji dio kućišta kojeg treba isprati da bi se izbjeglo međusobno onečišćenje zbog različitog praha. Potrebno je pripaziti kad se za čišćenje unutrašnjosti koristi komprimirani zrak. Zrakom raspršeni prah može pobjeći toku zraka unutar kućišta i izaći van. Iz tog razloga gumeni brisač za stakla ili mokra krpa su bolji za čišćenje unutrašnjosti kućišta za raspršivanje.

Također, podsustav za prikupljanje viška praha treba se pripremiti za promjenu praha. Čišćenje ovog podsustava ovisi od proizvođača koji se trude da vrijeme čišćenja svedu na minimum (u nekoliko minuta).

Postoji mogućnost da se kod promjene praha izostavi podsustav za prikupljanje viška praha i da se sav suvišni prah skuplja u spremnik. Takav način smanjuje vrijeme potrebno za promjenu praha, ali se stvaraju veliki gubici jer se višak praha miješa sa ostalim prahom nekog drugog rala čini otpadni prah. Taj prah se mora adekvatno zbrinuti i samim time troškovi još više rastu.

Ovaj koncept nije najučinkovitiji, ali se koristi kada postoji povremena potreba za promjenom praha [8].

## 6.6. Peći za pečenje nanešenog praha

### 6.6.1. Predgrijavanje

Predgrijavanje je potrebno prije procesa nanošenja praha kako bi sva zaostala vlaga isparila sa površine obratka u željenom vremenu.

Također se primjenjuje kako bi se povećala temperatura obratka što zahtjeva određivanje odnosa vremena trajanja i temperature. Što je obradak više temperature to se više praha nataloži na površinu. To nam može biti od velike koristi jer toplina može smanjiti posljedice "Faraday efekta" (*šupljine gdje električno polje ne prodire*), omogućavajući nanošenje praha na teško pristupačna mjesta.

Proces se obavlja u pećima raznih oblika, koje se odabiru prema potrebama, a ponekad i specifičnim zahtjevima klijenta.

Razlozi su slijedeći:

- istjerivanje zaostalih plinova kod poroznih lijevova
- spaljivanje zaostalog materijala od držača tih predmeta ( nastavak etape čišćenja),
- povećanje temperature predmeta koji su prošli fazu čišćenja kako bi se prah lakše nanio,
- Ponovno pečenje već pokrivenog i ohlađenog predmeta kako bi se još bolje razlio naneseni sloj
- zbog vlage i zaostalih kapljica vode od pripremljene operacijekako ne bi došlo do problema u komori za nanošenje praha.

Ukoliko svi podsustavi funkcioniraju dobro, proizvodni proces elektrostatskog naprašivanja odvija se kontinuirano, a tako i pečenje mora biti učinkovito i što jeftinije. Svaki novi zahtjev mora se detaljno razmotriti kako bi se optimalno prilagodio mogućnostima i načinu rada postojećih peći. Detaljno razmatranje svih aspekata pečenja predmeta u liniji za zaštitu prahom kritično je i prilično utječe kako bi se dobio učinkovit, djelotvoran i zadovoljavajući rad pogona, a time i kvalitetan proizvod.

### 6.6.2. Završno pečenje

Operacija završnog pečenja u procesu usavršavanja nanašanja praha je možda i najkritičnija. Kako se kod elektrostatskog naprašivanja prah nanaša na sobnoj temperaturi peći služe da se nakon nanašanja prah rastali, razlije i na kraju stvrdne. S ovim procesom grijanje-pečenje treba vrlo pažljivo upravljati jer karakteristična temperatura taljenja za svaki pojedini prah je specifična. Ovisno o toj karakteristici praha odrediti će se protok obradaka kroz peć u ovisnosti o tome koliko se temperatura povećala. Većina materijala se transferzalno vezuje i postaje viskozniiji što je dulje vrijeme grijanja za danu temperaturu. Za materijale koji se termički stvrdnjavaju (*ireverzibilno, nepovratno*), upravljanje procesom je još kompliciranije.

Da bi se dobile jednoličnije karakteristike pokrivanja sve se površine moraju jednako termički tretirati. Peći za završno pečenje moraju biti vrlo pouzdane, a njihov regulacijski sustav vrlo precizan jer na kraju o njima ovisi krajnji rezultat cijelog procesa zaštite [8].

### 6.6.3. Razmatranja vezana za proces i izbor peći

Više se elemenata mora razmotriti kod izabiranja peći za linije elektrostatskog nanošenja. Od najveće su važnosti:

- obradak; veličina, njegova konfiguracija, masa, temperaturna ograničenja
- pomična traka; vrsta, držači obratka, brzina trake
- prah; tip praha, debljina sloja, profil stvrđivanja, nijansa, sjaj.

Svi navedeni parametri trebaju se unaprijed definirati proizvođaču praha i uređaja kako bi se dobio odgovarajući sustav koji je dobro integriran s ostatkom procesa.

### 6.6.4. Metode pečenja

Ima više metoda i tehnika pečenja koje su se pokazale dobre u raznim primjenama.

U zadnjih nekoliko godina pojavile su se nove tehnologije peći koje su jako poboljšale kvalitetu stvrđivanja praha.

#### 6.6.4.1. Konveksijske peći s vrućim zrakom ili plinom

Prenašanje topline s izvora na obratke može se postići konvekcijom, vrućim zrakom kao medijem transporta. Izvori topline mogu biti plinski, naftni ili parni, koji proizvode tok vrućeg zraka u prostoru pečenja. Kod korištenja prostora za sagorjevanje, atmosfera peći može sadržavati ostatke sagorjevanja, pare razrijeđivača i vjerojatno ostatke nesagorjelog plina ili nafte.

Vrijeme potrebno da se prah dovede do temperature taljenja i skrućivanja jako ovisi o masi predmeta i brzine kojom absorbira toplinu koja mu se prenaša konvekcijom.

Veliki metalni predmeti trebaju 30 min. ili više da bi dosegli željenu temperaturu za topljenje i skrućivanje praha. Manji predmeti trebaju puno manje, 6 do 8 min. To što se toplina absorbira po cijeloj masi predmeta a ne samo po površini, samo je gubitak energije, što se tiče taljenja i skrućivanja praha. Međutim s obzirom na zahtjeve procesa, za predmete raznih obliku, veličina, dimenzija, ovo je najfleksibilniji i učinkovitiji način.

Vrijeme odziva velikih peći nije brzo, najčešće jedan sat da bi počevši od hladnog stanja, dosegle radnu temperaturu. Te peći trebaju znatnu površinu radnog prostora i rutinsko čišćenje, ako se želi kod visokih brzina proizvodnje dobiti kvalitetnu površina nanosa. Unatoč tim zahtjevima peći s konvekcijom su najviše upotrebljavane u industrijskoj primjeni. Međutim povećanje cijena energije i rada, koje se previsoke prisiljavaju na razmišljanje o drugim metodama [8].

#### 6.6.4.2. Peći sa infracrvenim zračenjem

Kratkovalno, infracrveno zračenje jakog inteziteta dobija se putem električne energije. Zračenjem se ostvaruje direktno zagrijavanje obradaka. Infracrveno zračenje prenosi se direktno s izvora zračenja na obradak (brzinom svjetlosti, koja je elektromagnetski val, brzinom 300.000 km/h). Za razliku od konveksijskog prenašanja, u kojem zagrijani zrak prenosi toplinsku energiju na obradak, infracrveno zračenje prenaša energiju direktno, bez posrednika. Tim zračenjem zagrijava se samo ono što je "u vidnom polju" izvora zračenja. Izvori infracrvenog

zračenja su obično kvarcne žarulje s volframovom niti. Ti kratki valovi prodiru i ispod površine obratka.

Infracrvene peći jakog intenziteta zračenja mogu imati brzi porast temperature. Peći ovog tipa su manjeg volumena, kompaktnije te se mogu prilagoditi raznim konfiguracijama i veličinama obratka. Vrijeme od hladnog stanja do dosizanja radne temperature je obično od 10 do 15 min. S njima se može ostvariti ušteda energije i prostora ako konfiguracija obratka odgovara ovom tipu pečenja.

Infracrveno zračenje je najbolje za proizvode koji se proizvode u specijaliziranim linijama u velikom broju. Potrebno je da izvor "vidi" direktno površinu predmeta na kojoj se prah treba rastaliti i stvrdnuti. Udaljenost izvor-obradak direktno utječe na proces. Cilindrični i okrugli obratci trebaju se za vrijeme pečenja rotirati.

Vrijeme topljenja i skrućivanja praha, s infracrvenim zračenjem jakog intenziteta kreće se od 10 do 120 sekundi.

### 6.6.5. Atmosfera unutar peći

Atmosfera unutar peći je kritična zbog sigurnosti, a i za konačni izgled obratka. Koncentracija razrjeđivača ili para mora biti niža od 25% donje granice eksplozivnosti. Iz tog razloga zrak unutar peći mora stalno cirkulirati i mijenjati se. Svježi zrak se mora ubacivati u peć kako bi se razrijedila koncentracija razrjeđivača i para.

Kod primjena praha, oslobođeni razrjeđivač je praktički nula. Lebdeće čestice mogu biti smole malih molekularnih težina, voda, dodaci za blokiranje itd., ali obično nema razrjeđivača.

U svim pogonima u kojima se nanosi prah, izbačeni zrak iz peći se šalje van pogona. Sustav za izbacivanje i za dovod čistog zraka treba stvarati lagani podtlak unutar peći. Velike peći s konvekcijom obično se smještaju bliže krovu tvornice zbog zračenja topline peći i izlaženja vrućeg zraka unutar radnog prostora.

Peći s infracrvenim zračenjem ne zagrijavaju okoliš oko peći. Peći moraju imati potrebnu veličinu za pravilno stvrdnjavanje praha i protok zraka.

Stranice unutrašnjeg prostora peći obično su od čelika ili keramike. Zidovi su obično složeni od modula i izolirani kako bi toplina ostala unutar peći.

### 6.6.6. Sigurnost

Ventilator za izvlačenje zraka je osnovni element sigurnosti peći. On izvlači van pare sagorjevanja kako bi se izbjegla eksplozija. Pare praha trebaju se odstraniti kako se ne bi promijenila nijansa obratka koji su u završnom procesu stvrdnjavanja praha. Ventilatori za izvlačenje i cirkulaciju zraka moraju imati detektore protoka. U slučaju da ti detektori ustanove pad protoka, daju signal za zaustavljanje rada peći.

Propisi proizvođača peći i pogonski propisi moraju se primijeniti kako bi rad bio siguran.

Sve sigurnosne procedure trebaju se obavljati svaka tri mjeseca. [8].



## 6.7. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS)

### 6.7.1. Uvod u elektrokemijsku impedancijsku spektroskopiju

Pri proučavanju elektrokemijskih sustava elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS) daje točne informacije o kinetici i mehanizmu mnogih procesa pa se koristi u istraživanju korozije, baterija, poluvodiča, elektroplatinga te elektro-organskih sinteza.

EIS tehnike koriste vrlo male amplitude pobude, često u području 5 – 10 mV, koje uzrokuju minimalne smetnje ispitivanog elektrokemijskog sustava, smanjujući pogreške nastale mjernom tehnikom.

Glavna prednost EIS-a je predodžba elektrokemijske ćelije elektroničkim modelom. Međufazna granica elektroda/elektrolit, na kojoj se odvija elektrokemijska reakcija, je analogna električkom krugu koji se sastoji od kombinacije otpora i kapaciteta. Prednost spomenute analogije je u karakteriziranju elektrokemijskog sustava pomoću ekvivalentnog kruga.

Jednom kada se odabere odgovarajući ekvivalentni krug, numeričke vrijednosti elemenata kruga dobivaju se matematičkim usklađivanjem eksperimentalnih podataka s izabranim elementima ekvivalentnog kruga.

### 6.7.2. Teorijske osnove EIS-a

Teorija elektrokemijske impedancije je grana teorije izmjenične struje (AC), koja opisuje odziv strujnog kruga na izmjeničnu struju ili napon kao funkciju frekvencije.

U teoriji *istosmjerne struje* (DC, poseban slučaj AC teorije gdje je frekvencija jednaka nuli) otpor je definiran **Ohmovim zakonom**:

$$E = I \times R \quad (5)$$

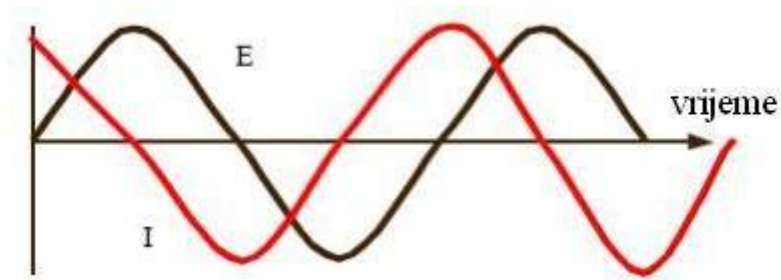
U krugu istosmjerne struje, otpornik je jedini element koji ometa tok elektrona.

U teoriji *izmjenične struje* (AC) frekvencija nije jednaka nuli i vrijedi analogna relacija:

$$E = I \times Z \quad (6)$$

$Z$  je definiran kao **impedancija**, koja je AC ekvivalent otporu,  $R$  te se također mjeri u  $\Omega$ . U AC krugu osim otpora, induktivitet i kapacitet ometaju tok elektrona.

Slika 23. prikazuje sinusoidalnu krivulju potencijala,  $E$  kroz strujni krug i rezultirajući AC strujni val,  $I$ . Važno je istaknuti, da se navedene dvije krivulje ne razlikuju samo po amplitudi, već su pomaknute u vremenu,  $t$ ; one su izvan faze. U slučaju prolaska izmjenične struje kroz otpornik, valovi će biti u fazi, a amplitude će im biti različite [13].



Slika 23. AC val za narinuti potencijal, E i rezultirajuću struju, I

Sinusoidni val struje i potencijala može se opisati relacijama:

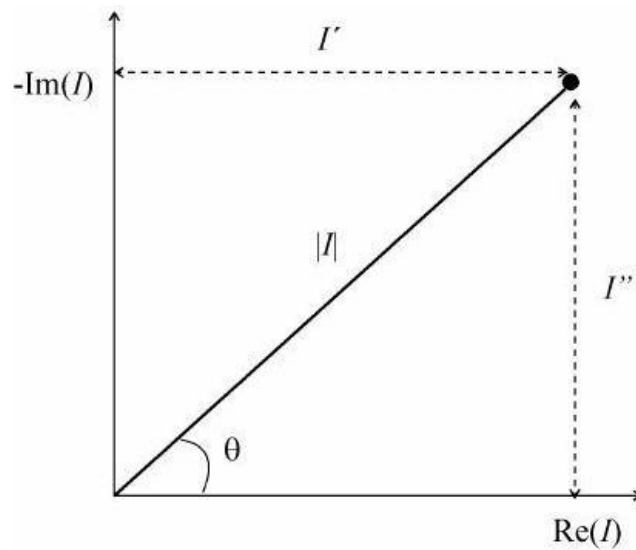
$$I(t) = A_I \cdot \sin(\omega t + \Theta) \quad (7)$$

$$E(t) = A_E \cdot \sin \omega t \quad (8)$$

### 6.7.2.1. Vetorska analiza

Primjer na slici 23. prikazuje vektorsku analizu za rezultirajuću krivulju struje sa slike 24.

Osi su definirane kao realna ( $I'$ ) i imaginarna ( $I''$ ) os.



Slika 24. Vektor  $|I|$  opisan, realnom  $I'$  i imaginarnom  $I''$  koordinatom

AC strujni vektor može se definirati kao suma njegove imaginarne i realne komponente:

$$I_{uk} = I' + I'' j \quad (9)$$

Gdje je:  $j = \sqrt{-1}$

Realna i imaginarna komponenta strujnog ili naponskog vala su definirane u odnosu na neki referentni val. Realna komponenta je u fazi s referentnim valom, a imaginarna komponenta je točno  $90^\circ$  izvan faze. Referentni val nam dozvoljava da strujni ili naponski val izrazimo kao vektore s obzirom na iste koordinatne osi, što znatno olakšava matematičko računanje s vektorima i omogućava primjenu relacije da se izračuna impedancijski vektor kao omjer vektora potencijala i struje:

$$Z_{ukupno} = \frac{E' + E'' j}{I' + I'' j} \quad (10)$$

gdje se AC vektor potencijala,  $E$  može također izraziti kompleksnim brojem:

$$E_{ukupno} = E' + E'' j \quad (11)$$

Rezultirajući vektor za AC impedanciju glasi:

$$Z_{ukupno} = Z' + Z'' j \quad (12)$$

Analogno sa slikom 24., apsolutna vrijednost impedancije (duljina vektora) je:

$$|Z| = \sqrt{Z'^2 + Z''^2} \quad (13)$$

i fazni kut:



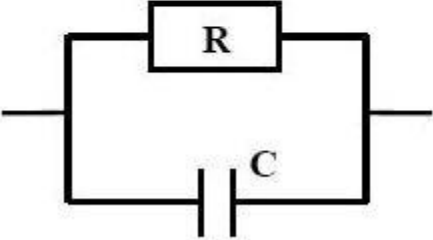
$$\tan \Theta = \frac{Z''}{Z'} \quad (14)$$

### 6.7.3. Analiza impedancijskih odziva

#### 6.7.3.1. Električki ekvivalentni krug

Svaka elektrokemijska ćelija može se predočiti električkim ekvivalentnim krugom sastavljenim od otpornika,  $R$  i kondenzatora,  $C$  prikazani u tablici 12 uz impedancijske relacije.

Tablica 3. Elementi ekvivalentnog kruga i pripadajuće impedancijske relacije

Element kruga	Impedancijska jednadžba
	$Z = R + j0$
	$Z = 0 - \frac{j}{\omega C}$
	$Z = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} - j \frac{\omega C R^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2}$

Da se odredi koji električki ekvivalentni krug najbolje opisuje ponašanje elektrokemijskog sustava, potrebno je provesti mjerenja u širokom rasponu frekvencija. Standardna mjerna tehnika zasniva se na pobudi  $ac$  napona ili struje u širokom području frekvencija, a mjeri se strujni ili potencijalni odziv elektrokemijskog sustava. Analizom odziva signala na svakoj frekvenciji, može se izračunati impedancija mjernog sustava. Većina elektrokemijskih sustava se može dobro opisati u području frekvencija od 1 mHz do 10 kHz.

### 6.7.3.2. Impedancijski prikaz

Postoje različiti načini prikazivanja impedancijskih podataka.

Najčešći prikazi su:

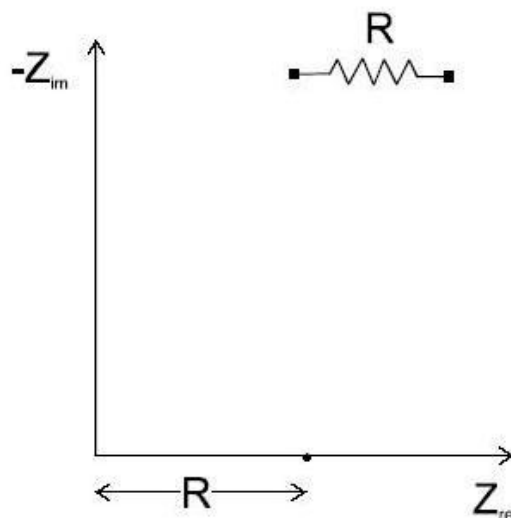
- *Nyquistov dijagram:*

$Z''$  prema  $Z'$

- *Bodeov dijagram:*

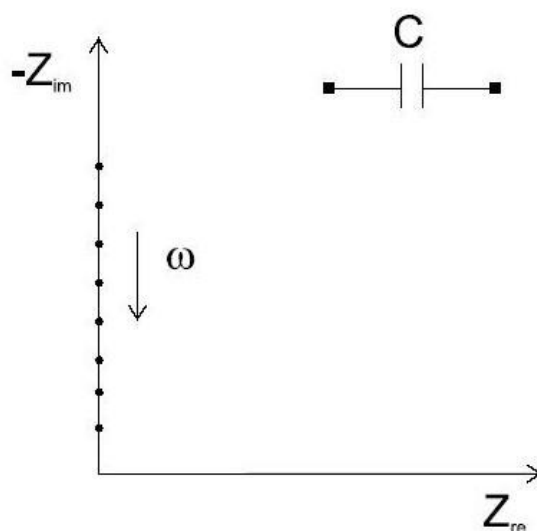
$\log |Z|$  prema  $\log f_i$  i  $\theta$  prema  $\log f$ .

Na slikama 25-27. prikazani su Nyquistovi prikazi i pripadajući ekvivalentni krugovi za različite jednostavne kombinacije osnovnih elemenata električkog kruga.



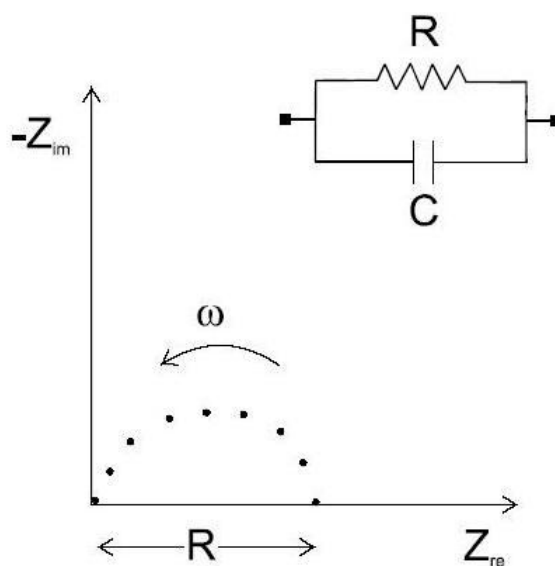
Slika 25. Nyquistov prikaz ekvivalentnog kruga sastavljenog od otpornika

Za slučaj kada je  $ac$  potencijal (5 mV) primijenjen na otpornik,  $R$  ( $R$  predstavlja otpor elektrolita ili otpor Faradayske reakcije), ukupna impedancija,  $Z = R$ . Imaginarna komponenta ne postoji, a fazni pomak je 0 stupnjeva – struja je u fazi s potencijalom (vidi tablicu 3. i sliku 25.).



Slika 26. Nyquistov prikaz ekvivalentnog kruga sastavljenog od kondenzatora

Za slučaj kada je *ac* potencijal primijenjen na kondenzator, *C* (*C* predstavlja kapacitet idealno polarizibilne elektrode), ukupna impedancija je sada ovisna o frekvenciji. Realna komponenta ne postoji, a imaginarna komponenta je funkcija kapaciteta i frekvencije (vidi tablicu 3. i sliku 26.).



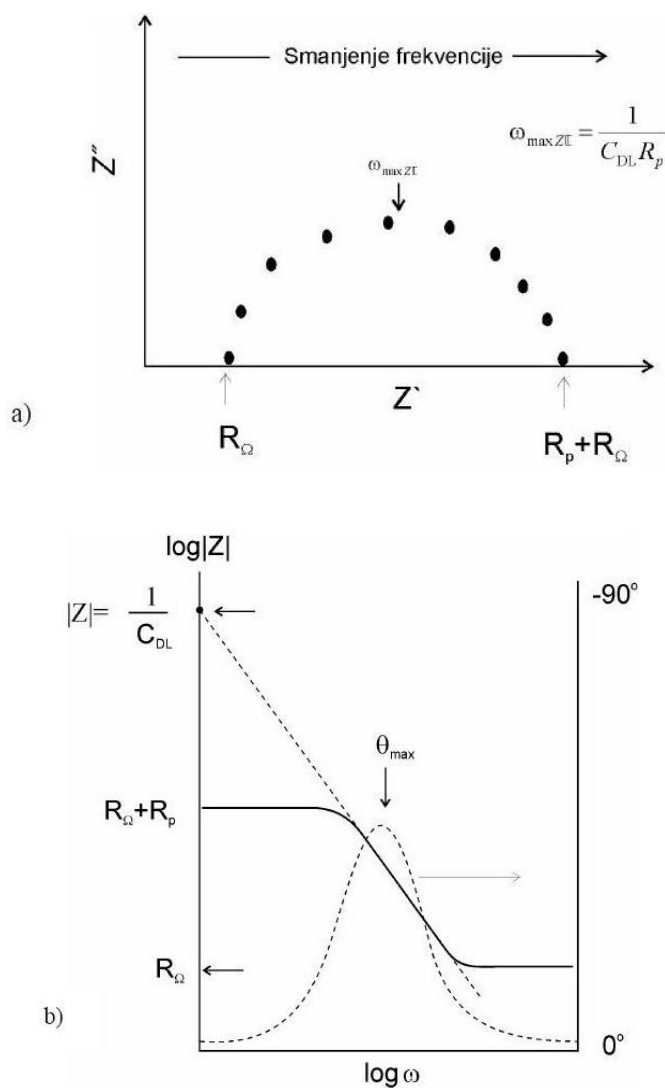
Slika 27. Nyquistov prikaz ekvivalentnog kruga sastavljenog od paralelne kombinacije otpornika i kondenzatora

Za slučaj kada je  $ac$  potencijal primijenjen kroz paralelnu kombinaciju kondenzatora,  $C$  i otpornika,  $R$ , ukupna impedancija je vektorska suma pojedinačnih vrijednosti impedancije otpornika i kondenzatora (tablica 3. i slika 27.):

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_R} \quad (15)$$

#### 6.7.4. Impedancija međufazne granice elektroda/elektrolit

Impedancijski odzivi, za Faradaysku reakciju pod kontrolom prijenosa naboja (spori stupanj u reakciji je izmjena naboja) na međufaznoj granici elektroda/elektrolit, prikazani su u Nyquistovom i Bodeovom prikazu (slika 28a i 28b).



Slika 28. Nyquistov (a) i Bodeov (b) dijagram za reakciju pod kontrolom prijenosa naboja

Kod najviših vrijednosti frekvencija polukrug siječe x-os (slika 28a), impedancija je neovisna o frekvenciji (slika 28b) i određena je omskim otporom,  $R_{\Omega}$ . Vrijednost faznog kuta je nula (slika 28b).

Kod najnižih vrijednosti frekvencija polukrug siječe x-os (slika 28a), impedancija je također neovisna o frekvenciji (slika 28b) te se može aproksimirati otporom, koji ima vrijednost  $R_{\Omega} + R_p$ . Vrijednost faznog kuta je nula (slika 28b).

Na srednjim vrijednostima frekvencija, impedancija postaje ovisna o frekvenciji (slika 28b) te je određena kapacitetom. Imaginarna komponenta je značajna i fazni kut se približava maksimalnoj vrijednosti od  $90^\circ$  (slika 28b).

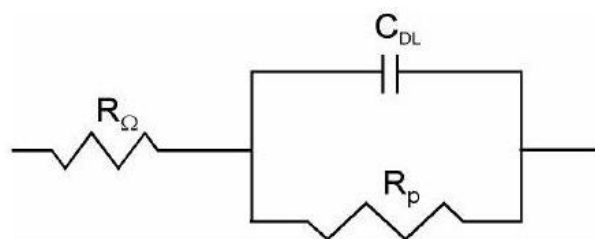
Kapacitet se može izračunati pomoću frekvencije koja odgovara vrhu kruga,  $\omega_{(\theta = \max)}$ , ako je poznat  $R_p$  (slika 33a) prema relaciji:

$$\omega_{\max Z''} = \frac{1}{C_{DL} \cdot R_p} \quad (16)$$

ili ekstrapolacijom linearnog dijela ovisnosti  $\log |Z|$  prema  $\log f$  na os  $\log |Z|$  (slika 28b) prema relaciji:

$$C_{DL} = \frac{1}{|Z|} \quad (17)$$

Električki ekvivalentni krug, kojim se mogu aproksimirati impedancijski odzivi sa slike 28, prikazan je na slici 29.



- $R_{\Omega}$  - omski otpor ili otpor elektrolita
- $R_p$  - polarizacijski otpor
- $C_{DL}$  - kapacitet dvosloja

**Slika 29. Ekvivalentni krug za jednostavan elektrokemijski sustav**

$R_{\Omega}$  je *omski otpor*, otpor elektrolita između radne i referentne elektrode.  $R_p$  je *polarizacijski otpor* ili *otpor prijenosu naboja* na međufaznoj granici elektroda/elektrolit.  $C_{DL}$  je *kapacitet dvosloja* međufazne granice elektroda/elektrolit [13].



## 7. EKSPERIMENTALNI RAD

U eksperimentalnom dijelu rada kemijskim postupkom pripravljena je podloga uzoraka od niskougljičnog čelika i zaštićena praškastom epoksidnom prevlakom postupkom plastifikacije.

Na tako pripremljenim i zaštićenim uzorcima provedena su ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori sukladno normama HRN EN ISO 9227 i DIN EN ISO 6270-2.

Provedeno je ispitivanje elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom (EIS) u alkalnoj otopini pri pH vrijednosti 12.

Priprema uzoraka, kemijska predobrada i zaštita praškastim prevlakama provedena je u tvrtki „KONČAR Sklopna postrojenja“.

Na uzorke se nanosio prah standardnog RAL-a 7032 za unutarnju upotrebu koji nakon pečenja nema sjaj i ima reljefni izgled. Dijelovi na koje se nanosi takav prah nisu pod utjecajem atmosferilija nego su smješteni u zatvorenom prostoru. Nanešen je i prah također standardnog RAL-a 7032, ali je on prilagođen vanjskoj upotrebi. Nakon pečenja karakterizira ga sjaj, ali i izraženija reljefna struktura.

Kako bi se mogla napraviti kvalitetna usporedba i analiza rezultata nakon ispitivanja na uzorke je nanesen i prijašnji standardni prah RAL-a 7000 koji više nije u upotrebi. Njega karakterizira sjajan i gladak izgled površine nakon pečenja.

U tvrtki „KONČAR Sklopna postrojenja“ ukoliko to klijent želi može se nanijeti i prah nekog drugog RAL-a koji nije u svakodnevnom opticaju. Iz tog razloga postoji odvojeni sustav za nanošenje na kojem se vrlo lako mijenja željeni prah, ali kod tog sustava nema rekuperacije praha nego sav neiskorišteni prah odlazi u spremnik gdje se miješa sa prahom nekog drugog rala i svi tako pomiješani čine otpadni prah. Ideja je bila i taj otpadni prah nanijeti na pločice od lima, prije toga adekvatno kemijski predobrađene kako bi se ispitala i njegova zaštitna svojstva. Slika 30. prikazuje elektrostatsko nanošenje praha na ispitne uzorke.



**Slika 30. Prikaz elektrostatskog nanošenja praha na uzorak za ispitivanje u slanoj i vlažnoj komori [10]**

## 7.1. Mjerenje debljine sloja premaza

Debljina sloja mjerodavna je za zaštitno djelovanje, trajnost zaštite, tvrdoću i elastičnost prevlake. Pretanki sloj zbog mogućih pora ili nedovoljne pokrivenosti površine najčešće ne daje zadovoljavajuće zaštitno djelovanje dok predebeli sloj može dovesti do pogrešaka u prevlaci. Zbog toga je potrebno izvršiti mjerenje debljine sloja prevlake.

Pri ocjenjivanju zaštitne prevlake treba mjeriti njenu lokalnu debljinu i to na onim mjestima gdje se očekuje najmanja debljina, jer je kvaliteta prevlake definirana upravo tom minimalnom debljinom. Korozijska otpornost raste kod većine prevlaka povećanjem debljine, ali također rastu i proizvodni troškovi pa je stoga poznavanje minimalne vrijednosti potrebno iz ekonomskih razloga.

Sukladno normi **EN ISO 2808** provedeno je mjerenje debljine suhog filma prevlake na svim uzorcima prije korozijskih ispitivanja (slika 31).

Provedeno je po 10 mjerenja za svaki uzorak uređajem „**elcometer 456**“.

Uređaj je prije mjerenja umjeren korištenjem priloženog etalona. Dobiveni rezultati mjerenja se pohranjuju u blokove. U ovom ispitivanju blok se sastoji od 10 mjerenja. Kada se uređaj spoji na računalo uz pomoć kompatibilnog programa dobivaju se statistički podaci o debljini prevlake.



Slika 31. Mjerenje debljine sloja epoksidne prevlake uređajem „elcometer 456“ [10]

Legenda za označavanje ispitnih uzoraka:**Oznake za RAL:**

A- ral 7032 (za unutarnju upotrebu)

B- ral 7032 (za vanjsku upotrebu)

C- ral 7000 (prijašnji standardni ral)

D- otpadni prah

**Oznake za komoru u kojoj se vrši ispitivanje:**

S- slana komora

V- vlažna komora

**Oznake šarže i broja uzorka:**

11- prva šarža, prvi uzorak

12- prva šarža, drugi uzorak

21- druga šarža, prvi uzorak

22- druga šarža, drugi uzorak

Minimalne, maksimalne, prosječne te vrijednosti standardne devijacije debljine sloja epoksidne prevlake prikazane su u tablicama 3-6.

**Tablica 4. Debljine praškaste epoksidne prevlake A**

UZORAK	minimum	maksimum	prosjek	standardna devijacija
AS11	95,0	115,0	103,61	6,13
AS12	83,3	96,2	90,35	4,38
AV11	83,6	133,0	104,01	15,32
AV12	97,2	152,0	124,62	17,81
AS21	85,0	141,0	110,96	19,21
AS22	89,1	123,0	106,83	9,98
AV21	133,0	188,0	162,8	21,69
AV22	100,0	152,0	124,1	17,7

**Tablica 5. Debljine praškaste epoksidne prevlake B**

<b>UZORAK</b>	minimum	maksimum	prosjek	standardna devijacija
BS12	52,8	146,0	87,46	34,53
BS11	76,0	150,0	107,73	21,43
BV12	31,8	128,0	70,64	26,68
BV11	64,5	114,0	87,98	17,62
BS21	50,6	174,0	100,47	32,91
BS22	73,5	154,0	117,71	26,13
BV21	67,5	125,0	102,85	18,77
BV22	40,4	130,0	81,28	28,68

**Tablica 6. Debljine praškaste epoksidne prevlake C**

<b>UZORAK</b>	minimum	maksimum	prosjek	standardna devijacija
CS1	97,7	119,0	107,95	7,54
CS2	101,0	122,0	113,0	7,53
CV1	96,7	116,0	107,28	7,77
CV2	91,3	134,0	115,93	11,82

**Tablica 7. Debljine praškaste epoksidne prevlake D**

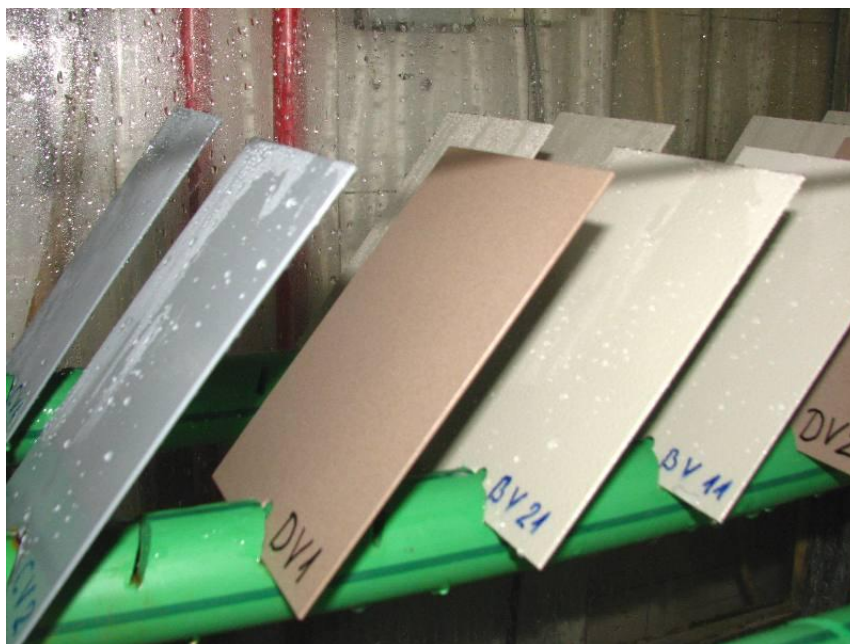
<b>UZORAK</b>	minimum	maksimum	prosjek	standardna devijacija
DS1	82,7	103,0	91,81	5,87
DS2	86,6	118,0	96,57	8,56
DV1	80,8	106,0	94,74	7,88
DV2	83,3	104,0	92,94	7,38

## 7.2. Ispitivanje u vlažnoj komori

Ispitivanje je provedeno s ciljem utvrđivanja svojstva antikorozivne zaštite praškastih prevlaka u vlažnoj sredini.

Provodi se prema normi DIN EN ISO 6270-2 gdje su opisani opći uvjeti koji se moraju poštivati prilikom ispitivanja na uzorcima.

Za ispitivanje u vlažno-toploj atmosferi korištena je ručno izrađena vlažna komora, a uzorci za ispitivanje prikazani su na slici 32.



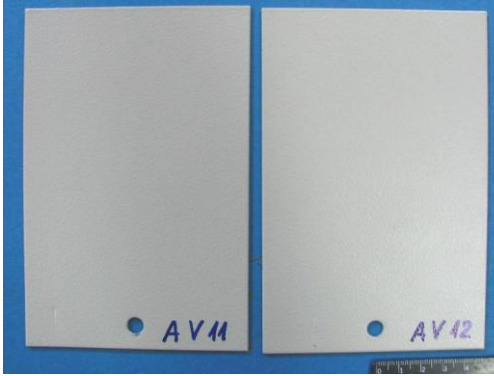
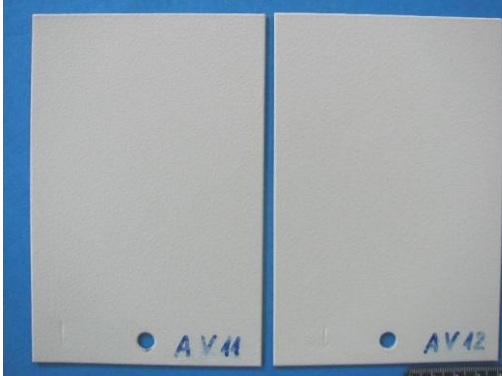
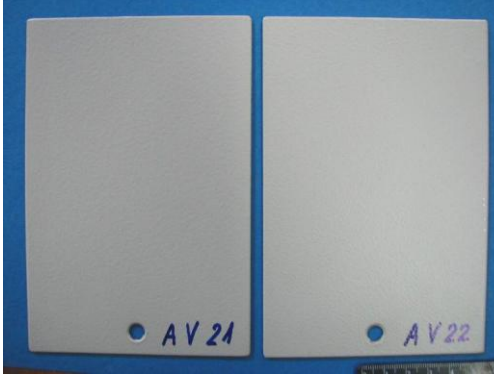

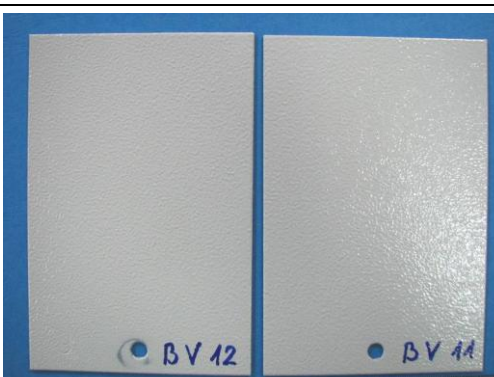

Slika 32. Uzorci različitih epoksidnih prevlaka u vlažnoj komori [10]

Vlažna komora ima podnu tavu za prihvatanje vode koja se zagrijava te na taj način temperira prostor za ispitivanje. Temperatura pri kojoj se ispituje iznosi  $40 \pm 3^\circ\text{C}$ , a relativna vlažnost zraka oko 100% s orošavanjem uzoraka. Ispitivanje je izvršeno u trajanju od 10 dana (~240 h).

U tablici 8. su prikazani uzorci prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori.

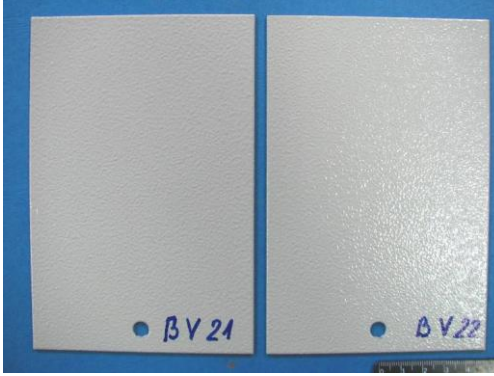
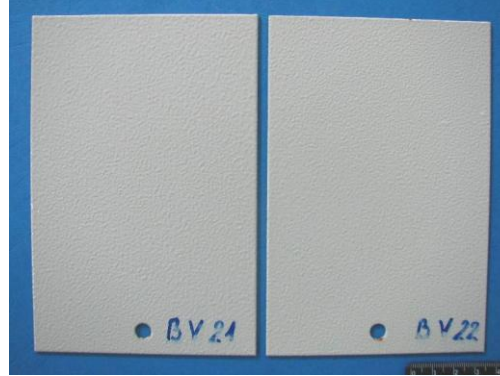
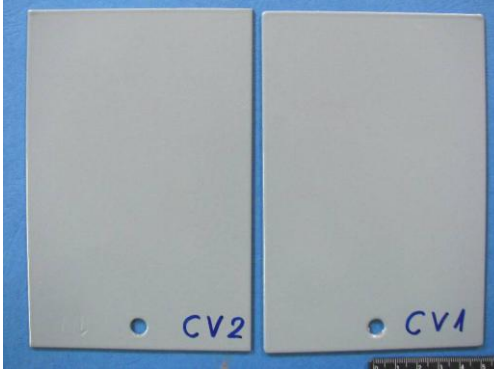
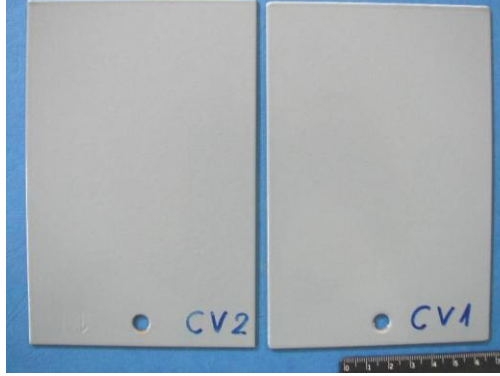
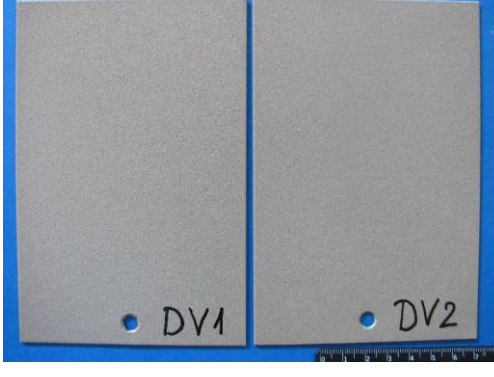
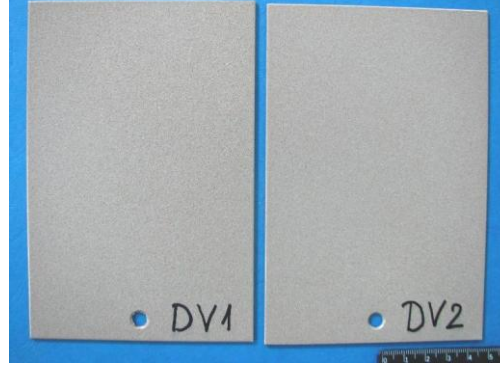
Vizualnim pregledom uzoraka nisu uočena korozivna oštećenja.

Tablica 8. Usporedba epoksidne prevlake prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori

UZORAK	prije ispitivanja	Nakon 240 h ispitivanja
AV 11 AV 12		
AV 21 AV 22		
BV 12 BV 11		



**Tablica 8. Usporedba epoksidne prevlake prije i nakon ispitivanja u vlažnoj komori**

<b>BV 21</b> <b>BV 22</b>		
<b>CV 2</b> <b>CV 1</b>		
<b>DV 1</b> <b>DV 2</b>		

### 7.3. Ispitivanje u slanoj komori

Ispitivanje u slanoj komori provedeno je prema normi HRN ISO 9227. Za ispitivanje se koristila 5%-tna otopina NaCl, a temperatura u komori je iznosila 35 °C. Ispitivanje je trajalo 10 dana (~240 h) u slanoj komori Ascott, model S450. Položaj ispitnih uzoraka u slanoj komori prikazan je na slici 27., a u tablici 13. prikazani su parametri ispitivanja.



Slika 33. Slana komora Ascott, model S450 sa ispitnim uzorcima [10]

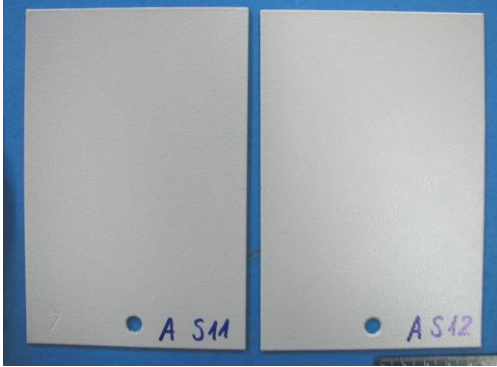


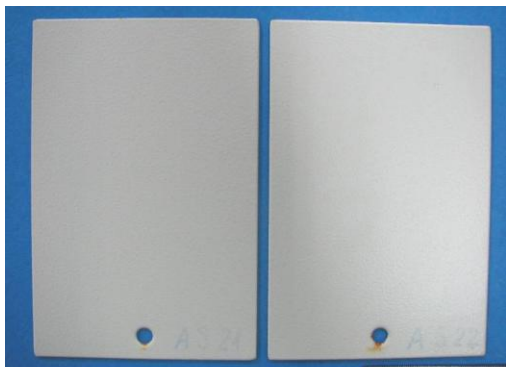


Tablica 9. Parametri ispitivanja u slanoj komori

Parametri ispitivanja	Norma HRN ISO 9227	Uvjeti ispitivanja
Trajanje ispitivanja [ h ]	prema dogovoru	240
Temperatura ispitnog prostora [°C]	35±2	35±0,1
Volumen ispitnog prostora [ l ]	min 400	450
Temperatura ovlaživača komprimiranog zraka [°C]	45-50	47
Tlak komprimiranog zraka [bara]	0,7-1,4	0,98
Korištena otopina	NaCl	NaCl
Koncentracija korištene otopine [%]	5	5
Količina sakupljenog kondenzata [ ml/80cm <sup>2</sup> /h ]	1,5±0,5	2,0
pH vrijednost kondenzata pri [ 25±2°C ]	6,5-7,2	7,14
Provodljivost destilirane vode [ μS/cm pri 25±2°C ]	max 20	<10


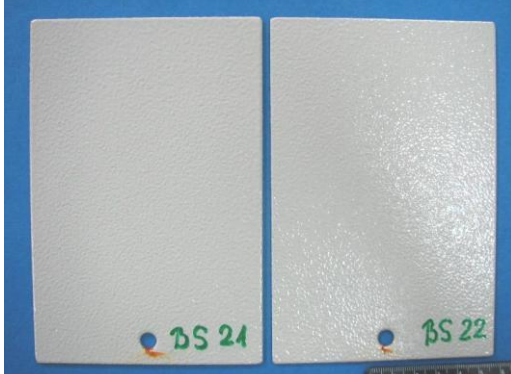
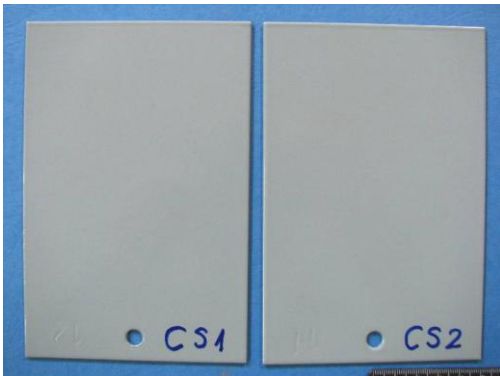


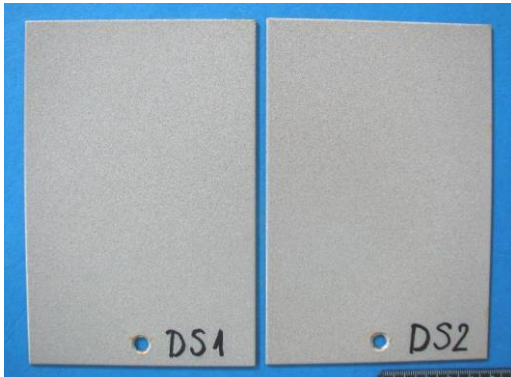
U tablici 10. prikazani su uzorci prije i nakon ispitivanja u slanoj komori.



Tablica 10. Usporedba epoksidne prevlake prije i nakon ispitivanja u slanoj komori

UZORAK	prije ispitivanja	nakon 240 h ispitivanja
<p>AS 11 AS 12</p>		
<p>AS 21 AS 22</p>		
<p>BS 12 BS 11</p>		

**Tablica 10. Usporedba epoksidne prevlake prije i nako ispitivanja u slanoj komori**


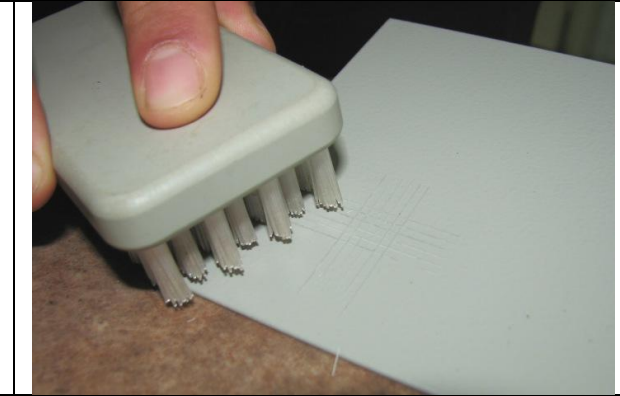
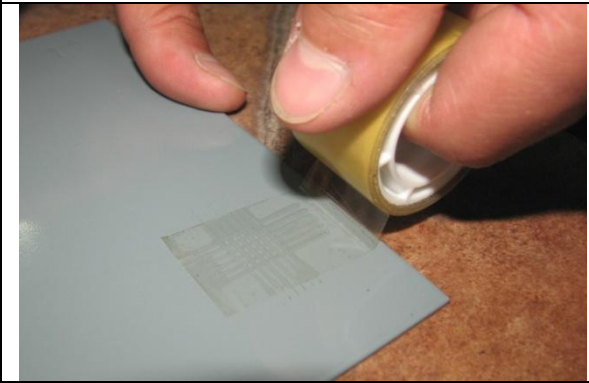
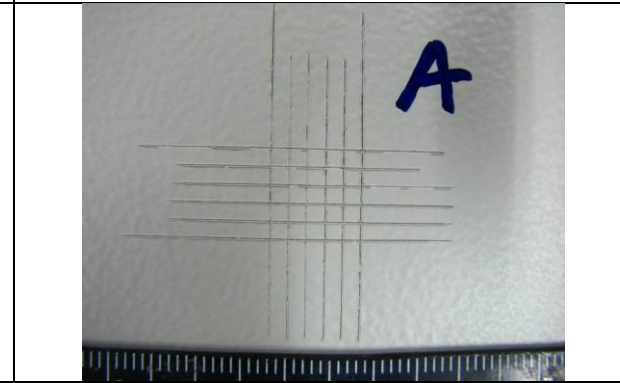
<b>BS 21</b> <b>BS 22</b>		
<b>CS 1</b> <b>CS 2</b>		
<b>DS 1</b> <b>DS 2</b>		

### 7.4. Ispitivanje prionjivosti

Prianjanje sloja epoksidne prevlake na podlogu određuje se metodom mrežice (cross-cut test) prema normi **HRN EN ISO 2409**. Ispitivanje se provodi tako da se na ispitnoj površini urežu zarez u horizontalnom i vertikalnom smjeru te tako urezani čine kvadratnu mrežu. Za izmjerenu prosječnu debljinu prevlake od 100  $\mu\text{m}$  korišten je razmak oštrica od 2 mm.

Redoslijed ispitivanja prikazan je u tablici 11.

**Tablica 11. Prikaz ispitivanja prionjivosti epoksidne prevlake prema redoslijeđu rada**

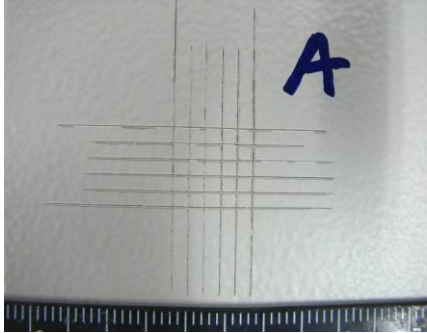
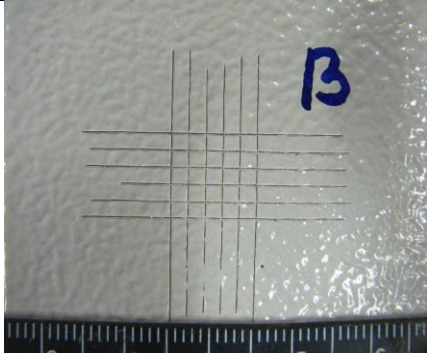
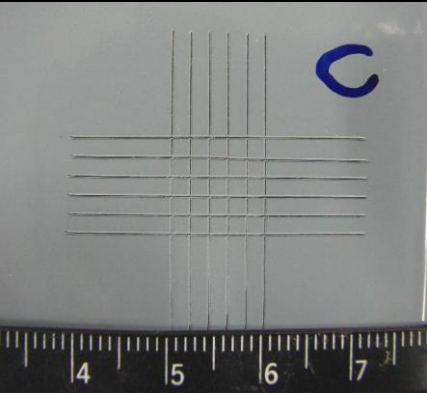
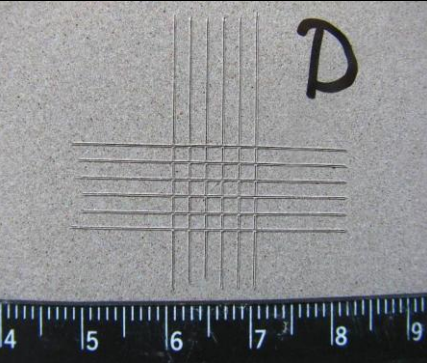
	
<p>1. urezivanje šest horizontalnih te šest vertikalnih zarez u epoksidnu prevlaku</p>	<p>2. odstranjivanje čestica prevlake četkom nastalih urezivanjem zarez</p>
	
<p>3. priljepljivanje ljepljive vrpce na urezanu kvadratnu mrežu</p>	<p>4. nakon otkidanja vrpce određuje se stupanj prianjanja prevlake na podlogu</p>

Stupanj prianjanja određuje se promatranjem kvadratića epoksidne prevlake koji su ostali između horizontalnih i vertikalnih ureza nakon priljepljivanja i otkidanja vrpce.

**Tablica 12. Ocjenjivanje prionjivosti premaza**

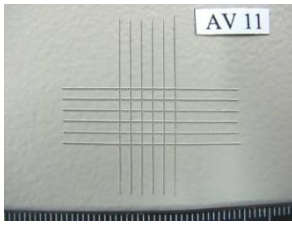
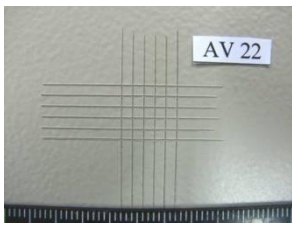
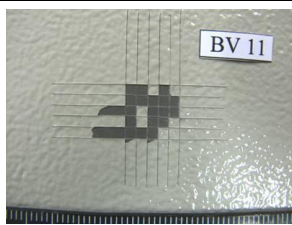
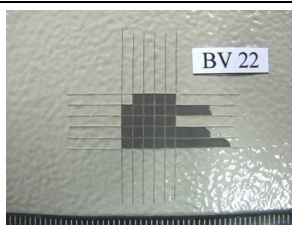
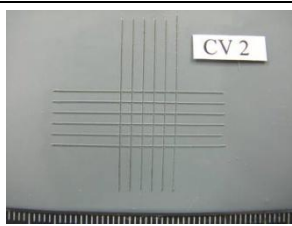
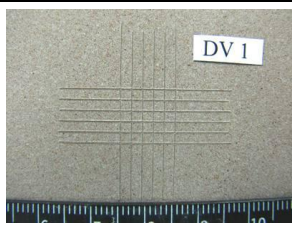
<b>Opis</b>	<b>ISO 2409</b>
Tragovi rezova su potpuno glatki, a nijedan kvadratić mrežice nije otkinut.	0
Nešto prevlake je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5% površine.	1
Dio prevlake je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici, 5 do 15% površine.	2
Prevlaka je oljuštena duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15 do 35% površine.	3
Prevlaka je oljuštena duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni, 35 do 65% površine.	4
Oljušteno je više od 65% površine	5

Tablica 13. Ocjene prionjivosti prije ispitivanja u komorama

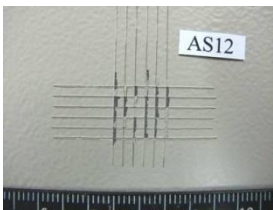
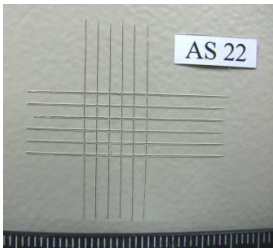
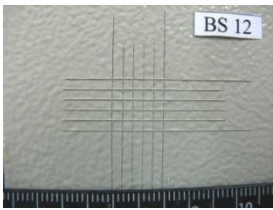
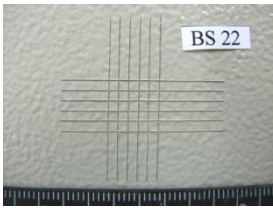
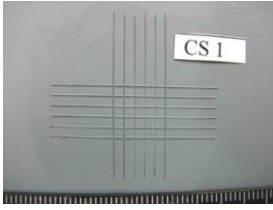
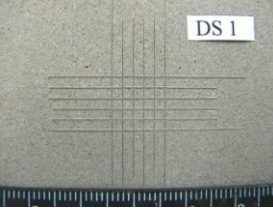
UZORAK	prije ispitivanja	ocjena prionjivosti prema normi ISO 2409
A		0
B		0
C		0
D		0



Tablica 14. Ocjene prionjivosti nakon ispitivanja u vlažnoj komori

UZORAK	nakon ispitivanja	ocjena prionjivosti prema normi ISO 2409
AV 11		0
AV 22		0
BV 11		5
BV 22		5
CV 2		0
DV 1		0

Tablica 15. Ocjene prionjivosti nakon ispitivanja u slanoj komori

UZORAK	nakon ispitivanja	ocjena prionjivosti prema normi ISO 2409
AS 12		2
AS 22		0
BS 12		0
BS 22		0
CV 2		0
DS 1		0

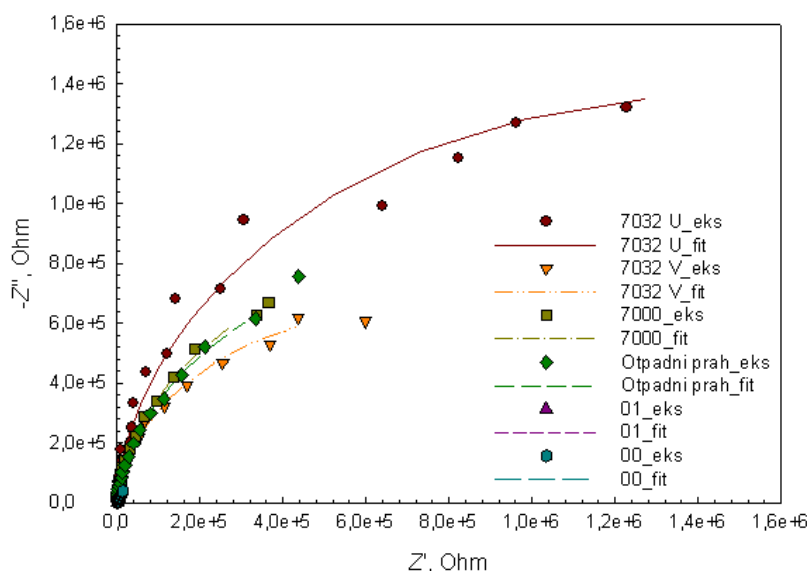
## 7.5. Ispitivanje elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom

Određivanje svojstava otpornosti prevlake provedeno je elektrokemijskim impedancijskim mjerenjima u 4%-tnoj otopini NaOH, pH vrijednosti 12 otvorenoj prema okolnoj atmosferi na uređaju Potenciostat/galvanostat EG&PARC model 378 na Zavodu za materijale, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Mjerenja su provedena u standardnoj troelektrodnoj ćeliji u kojoj je ispitni uzorak radna elektroda ispitne površine  $1 \text{ cm}^2$ . Zasićena kalomel elektroda je korištena kao referentna elektroda, a kao pomoćne elektrode korišteni su grafitni štapići. Mjerenja su provedena pri sobnoj temperaturi  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  za područje frekvencije od 500 kHz do 100 mHz te amplitudu promjene potencijala od 5 mV. Analiza podataka obrađena je u Solartron Z-View 2.2 programu [12].

Cilj ispitivanja bio je utvrditi polarizacijski otpor praškastih epoksidnih prevlaka na uzorcima od niskougljičnog čelika, dimenzija  $\varnothing 16 \text{ mm}$  koji su izrađeni probijanjem iz prethodno pjeskarenih ploča. Kao takvi su adekvatno kemijski predobrađeni te su na njih nanesene praškaste epoksidne prevlake istih RAL-ova kao i kod prethodnih ispitivanja.

Slika 34. prikazuje usporedni prikaz Nyquistovih dijagrama za svaki ispitni uzorak. Spektri sa oznakom **eks** označavaju eksperimentalne podatke, dok oznaka **fit** označava podatke dobivene iz aproksimacijskog ekvivalentnog električnog modela. Može se uočiti kako praškasta epoksidna prevlaka oznake **7032 V** (RAL-a 7032 za vanjsku upotrebu) ima najlošija zaštitna svojstva odnosno najmanji polarizacijski otpor.



Slika 34. Usporedni prikaz Nyquistovih dijagrama za ispitane uzorke [10]

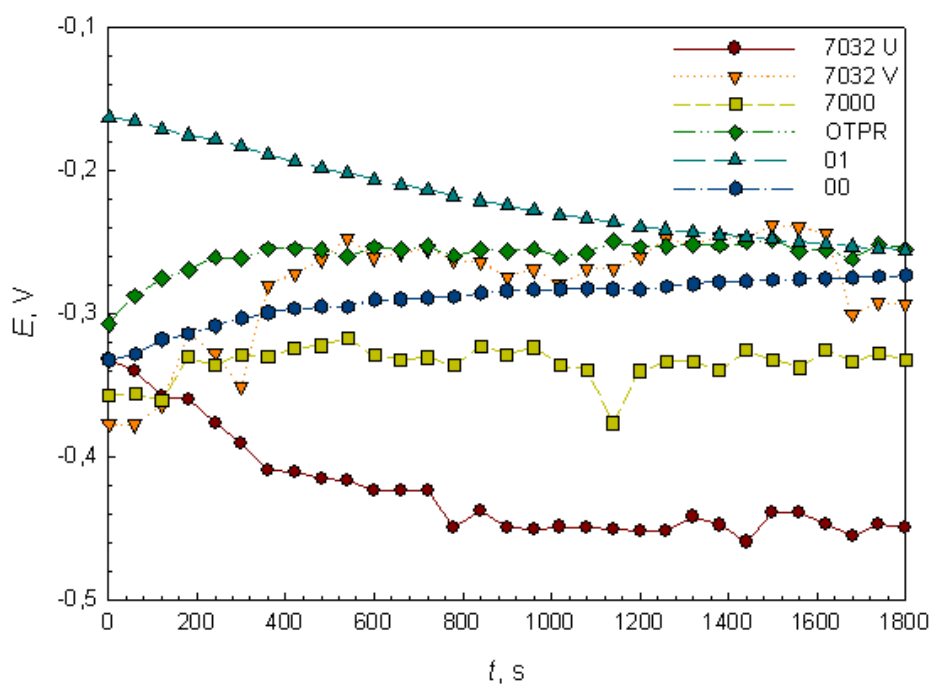
Izmjerene vrijednosti prikazane su u tablici 16.



Tablica 16. Rezultati EIS ispitivanja praškastih epoksidnih prevlaka

UZORAK	$R_e$ [ $\Omega$ ]	$C_{DL}$ [ $\Omega/\text{cm}^2$ ]	n	$E_{kor}$ [V] vs ZKE	$R_p$ [ $\Omega$ ]
7032 U	1507	$4,975 \times 10^{-11}$	0,96016	- 0,447	$2,8963 \times 10^6$
7032 V	1135	$6,549 \times 10^{-10}$	0,94467	-0,240	$1,372 \times 10^6$
7000	467,8	$6,452 \times 10^{-11}$	0,96166	-0,320	$1,7562 \times 10^6$
Otpadni prah	672,3	$7,321 \times 10^{-11}$	0,94090	-0,300	$1,8189 \times 10^6$
01	486,2	$247,478 \times 10^{-6}$	0,76340	-0,253	8451
00	447,9	$7,462 \times 10^{-6}$	0,72654	-0,270	17216

Na slici 35. prikazane su vrijednosti električnog potencijala u vremenu za uzorke praškastih epoksidnih prevlaka te je vidljivo kako praškasta epoksidna prevlaka oznake OTPR (otpadni prah) svojom stabilnošću pokazuje najbolja zaštitna svojstva.



Slika 35. Dijagrami elektrokemijskog (korozijskog) potencijala ovisno o vremenu

## 7.6. Analiza rezultata

U eksperimentalnom dijelu diplomskog rada provedena su ispitivanja fizikalnih i kemijskih svojstava praškastih premaza na uzorcima od niskougličnog čelika.

### **Mjerenje debljine premaza** sukladno normi EN ISO 2808

Provedeno je na svim uzorcima te u prosjeku nisu zabilježena veća odstupanja debljine od deklariranih. Izmjerene debljine nanešene epoksidne prevlake iznose od 31,8 µm do 188 µm.

### **Ispitivanje u vlažnoj komori** sukladno normi DIN EN ISO 6270-2

Ispitivanje je provedeno u trajanju od deset dana uz vizualnu kontrolu u periodima od po tri dana. Primjećeno je kako na uzorcima nije došlo do pojave produkata korozije. Korozija u tragovima pojavila se jedino na mjestima gdje je uzorak bio ovješeno o metalnu kuku koja je bila provučena kroz rupu, izbušenu iz jedinog razloga da se uzorak može objesiti i da se uspostavi kontakt. Na tom mjestu fizički je onemogućen pristup zaštitnom prahu prilikom elektrostatskog naprašivanja.

### **Ispitivanje u slanoj komori** sukladno normi HRN ISO 9227

Ispitivanje je provedeno također u trajanju od deset dana i u tom vremenskom periodu došlo je pojave korozijskih produkata u tragovima na rubovima uzoraka oznake AS 12, BS 11 kao i kod uzorka oznake CS 2. Korozija se pojavila na nezaštićenim mjestima iz istog razloga kao i kod ispitivanja u vlažnoj komori.

### **Ispitivanje prionjivosti** sukladno normi ISO 2409

Svi uzorci prije ispitivanja u komorama ocjenjeni su najboljom ocjenom 0 (bez ljuštenja). Nakon ispitivanja uzorci s oznakama BV 11 i BV 22 ocjenjeni su ocjenom 5 (izrazito ljuštenje). Radi se o praškastoj epoksidnoj prevlaci RAL-a 7032 (za vanjsku upotrebu) koja je pokazala izrazito loša zaštitna svojstva, ali samo kod izlaganja vlažnoj sredini. Uzorci istog RAL-a iz slane komore ocjenjeni su ocjenom 0 (bez ljuštenja). Uzorak s oznakom AS 12 ocjenjen je ocjenom 2 (5-15% odvojene površine). Ostali uzorci ocjenjeni su ocjenom 0 (bez ljuštenja).

### **Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS)**

Ispitivanje je pokazalo kako praškasta epoksidna prevlaka oznake **7032 V** (RAL-a 7032 za vanjsku upotrebu) ima lošija zaštitna svojstva u usporedbi sa drugim prevlakama, a  $R_p$  je iznosio  $1,372 \times 10^6$ .

Prašak epoksidna prevlaka od **otpadnog praha** pokazala je iznimno dobra zaštitna svojstva.

## 8. ZAKLJUČAK

Procese korozije je nemoguće u potpunosti izbjeći jer je poznato da su sveprisutni. Iz tog potrebno je nositi se s korozijskim oštećenjima nadograđujući već poznata znanja i iskustva. Problemu korozije treba pristupiti jako ozbiljno i stručno jer se jedino tako mogu postići željeni rezultati u sprečavanju ove neželjene pojave. Nedovoljna tehnološka disciplina kod provođenja pripreme površine može rezultirati lošim zaštitnim svojstvima čak i pomno odabranog zaštitnog sredstva visokog cjenovnog razreda.

Zaštita od korozije organskim prevlakama najzastupljenija je i s njom se ljudi najviše susreću u životu. Konkretno misli se na tekuće premaze koji se svojom jednostavnošću već desetljećima nameću kao najčešće odabrano zaštitno sredstvo. Cijena, lakoća upotrebe samo su neke od njihovih prednosti.

Bez obzira na navedeno, tehnologija elektrostatskog nanošenja praha danas se nametnula kao vrlo konkurentna jer svojim prednostima kao i sve jeftinijom opremom pruža bolje rezultate u odnosu na klasične premaze. Ekološki standardi koji su sve stroži prisiljavaju poduzetnike na uvođenje skupih sustava za filtriranja zraka kod komora za nanošenje premaza pa se oni nerjetko odlučuju za promjenu cjelokupnog sustava zaštite uvođenjem tehnologije elektrostatskog naprašivanja.

Kod korištenja praha kao premaznog sredstva posao je jednostavniji jer se prah može direktno koristiti iz kutije u kojoj je upakiran, odmah je spreman za upotrebu, a nema ni ekološkog zagađenja uslijed hlapljenja hlapivih organskih spojeva (otapala) u okoliš. Također manipulacija obratcima nakon izlaska iz peći puno je jednostavnija jer su već nakon 5 do 10 min. potpuno spremni za transport i montažu.

U početku primjene ove tehnologije dolazilo je do pojedinih problema jer je bilo teško izabrati adekvatan sustav predobrade koji bi bio kompatibilan i koji bi povećavao adhezijska svojstva. Ti problemi su prošlost jer razvojem kvalitetnih praškastih sredstava nesavršenosti i specifičnosti tehnološkog procesa mogu se znatno umanjiti.

Provedena ispitivanja pokazala su kako pojedini praškaste prevlake iako se to od njih nije očekivalo pokazuju vrlo dobra zaštitna svojstva, dok se kod nekih pokazalo upravo suprotno.

Otpadni prah je kod svih ispitivanja zadovoljio te bi mogao poslužiti kao prevlaka za zaštitu konstrukcija gdje obojenost površine nema nikakvu ulogu npr. cijevi za montažne skele ili nešto slično. Praškasta epoksidna prevlaka RAL-a 7032 za vanjsku upotrebu nije zadovoljila te bi kao takva vrlo brzo uzrokovala propadanje osnovnog materijala te time stvorila dodatne troškove.

## 9. LITERATURA

- [1] E. Stupnišek: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2007.
- [2] Jelić Mrčelić G.: Korozija i zaštita materijala, skripta, PFST, Split, 2010.
- [3] Juraga I., Alar V., Stojanović I., Šimunović V.: Korozija i metode zaštite od korozije, skripta, FSB, 2011.
- [4] Esih I.: Osnove površinske zaštite, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [5] Dostupno na:  
[ [http://www.val-navtika.net/val-149/vzdrzevanje/galvanska\\_galvanska\\_korozija\\_okovja/](http://www.val-navtika.net/val-149/vzdrzevanje/galvanska_galvanska_korozija_okovja/) ]  
(20.06.2012.)
- [6] Dostupno na: [ <http://www.fsb.unizg.hr/korozija/prikazi.php?s=1> ] (24.06.2012.)
- [7] Rački-Weihnacht, N.: Boje i lakovi-jučer, danas, sutra, Chromos boje i lakovi, Zagreb, 2004.
- [8] Ulrich L. D.: User's guide to powder coating (Third Edition), Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, 1993.
- [9] Plačković M.: Opis antikorozivne zaštite plastificiranjem koja se provodi u „KONČAR Sklopna postrojenja“, 1975.
- [10] Vlastita arhiva fotografija i tablica
- [11] Dostupno na: [ <http://rudanstudio.com/plastifikacija-metalala> ] (23.06.2012.)
- [12] Stojanović I.: Utjecaj tehnoloških parametara na zaštitna svojstva vodorazrjedivih premaza, Doktorski rad, FSB, Zagreb, 2011.
- [13] Petrović Ž.: Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS), Vježba 4.