

Kristijan Markač dipl.ing.str.  
Ferokotao d.o.o  
[kristijan.markac@ferokotao.hr](mailto:kristijan.markac@ferokotao.hr)

## KORIŠTENJE PRAŠKASTIH MATERIJALA U ANTIKOROZIVNOJ ZAŠTITI DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA I DIJELOVA OPREME ZA ENERGETSKE TRANSFORMATORE

### SAŽETAK

U proizvodnji kotlova i opreme za distributivne i energetske transformatore, osnova za antikorozivnu zaštitu temelji se na mokrim bojama. Mokre boje zbog potrebe aplikacija u sebi sadrže veliki udio hlapljivih tvari (razrjeđivač). Pri bojanju kotlova za distributivne transformatore, generira se veći udio otpada. Isto tako aplikacija mokrih boja se vrši isključivo ručno s vrlo malo mogućnosti automatizacije.

S druge strane antikorozivna zaštita upotrebom praškastih boja daje iste rezultate kao i mokre boje uz generiranje manjih, gotovo nikakvih količina otpada. Kako se radi o nanošenju krute tvari na objekt, prah nema hlapljivih tvari, što ga čini povoljnijom tehnologijom za okoliš, a automatizacija procesa je izrazito velika.

**Cljučne riječi:** antikorozivna zaštita, mokre boje, praškaste boje, distributivni transformatori, oprema energetskih transformatora

## POWDER COATINGS IN CORROSIVE PROTECTION OF STEEL COMPONENT FOR DISTRIBUTIVE AND EQUIPMENT OF POWER TRANSFORMER

### SUMMARY

In production of steel components for distributive and power transformer, as base for corrosive protection is used wet paint. Wet paint, because of application need, consists a lot of volatile component (Thinner). Also in painting process of tank for distributive Transformer, paint process produces a lot of danger waste. Paint process is manual, with limited possibility for automatization.

Corrosive protection of steel components for distributive and powder transformer can be achieved with powder coatings. Powder coatings of new generation meet requirements for corrosive protection, and in process generated a small amount of waste, and zero emission of volatile compounds. Process of powder coating can be high automatized.

**Key words:** anticorrosive protection, wet paint, powder coatings, distributive transformers, equipment for power transformer

## 1. UVOD

Antikorozivna zaštita komponenti transformatora je uz zavarivanje najvažniji proces u proizvodnji istih. Zahtjevi na antikorozivnu zaštitu su uvelike definirani okolišem u kojem je transformator instaliran. Premazi, odnosno sustavi premaza moraju zadovoljiti uvjete koji su opisani u normi HRN EN ISO 12944 [1]. Zahtjev za bojanje se dobiva od strane naručitelja sklopa, koji je izražen na dva načina. Prvi način je izražen putem spomenutog standarda, tj kupac naručuje kategoriju korozivnosti definiranu HRN EN ISO 12944 – 2, (npr. C4 - H) dok pojedini naručitelji točno definiraju vrstu pojedinog sloja, s potrebnim debljinama i proizvođača boje.

Iako spomenuti standard govori o bojama, svjedoci smo da na transformatoru postoje komponente koje su već tradicionalno zaštićene prahom (npr. kućišta upravljačkih ormarića). Laboratorijskim ispitivanjima može se dokazati da je i praškastim bojama moguće postići zahtjeve norma. U daljnjem tekstu bit će opisana oba procesa zaštite od korozije sa svim njihovim pozitivnim i negativnim stranama.

Općenito u antikorozivnoj zaštiti dostupne su još i sljedeće vrste zaštite metala,

- vruće cinčanje
- hladno cinčanje
- KTL

Od navedenih metoda, KTL nije prisutan u antikorozivnoj zaštiti čeličnih dijelova za transformatore.

## 2. BOJANJE MOKRIM BOJAMA

Proces bojanja može se podijeliti u dvije faze. Prva faza je priprema površine, a druga nanos boje.

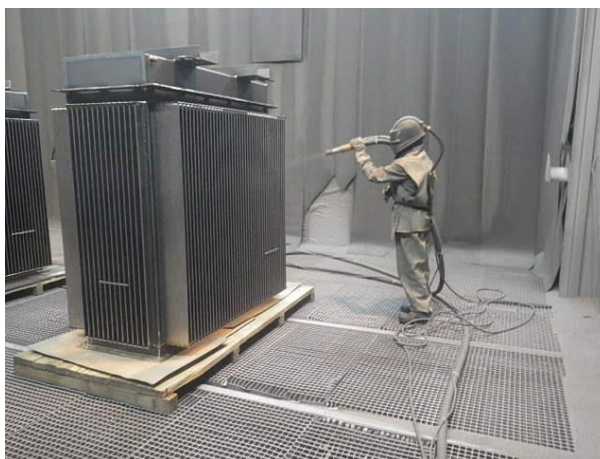
### 2.1 Priprema površine

Pri bojanju mokrim bojama priprema površine igra vrlo važnu ulogu za prijanjanje boje, a samim time i za dugotrajnost premaza. Pri bojanju čeličnih dijelova transformatora uglavnom se koriste dvije metode pripreme površine. Uobičajena priprema površine je odmaščivanje površine, koja je prikazana na slici 1. Odmaščivanje se radi ručno, i kao takvo uvelike je ovisno o čovjeku.



Slika 1. Odmaščivanje valovitog kotla, vanjske i unutarnje površine

Drugi način pripreme površine je abrazivno čišćenje, sačmarenje površine, gdje se kroz cijev, preko sapnice s tlačnim zrakom na površinu nanosi abraziv, koji mehaničkim djelovanjem skida nečistoće na površini metala, a ujedno i hrapavi površinu. Hrapavost površine je ujedno i jedan od parametra koje pojedine vrste boje zahtijevaju [2]. Pri abrazivnom čišćenju površine, vrlo je bitno paziti na zaštitu unutarnjih površina. Naime pri čišćenju se koristi lomljena metalna sačma, koja, ukoliko se nađe u transformatoru može izazvati oštećenje aktivnog dijela transformatora.



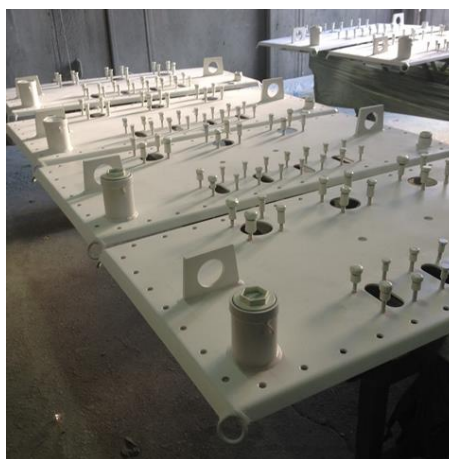
Slika 2. Pjeskarenje valovitog kotla

## 2.2 Bojanje transformatorskog kotla

Pod pojmom bojanje podrazumijevamo nanošenje boje na površinu objekta. Boja se na površinu može nanijeti sa sljedećim metodama [4].

- Ručna aplikacija četkom ili kistom
- Aplikacija špricanjem ( prskanjem)
- Polijevanjem.

Prilikom bojanja dijelova transformatorskih kotlova, uglavnom se koriste sve gore tehnike nanošenja boje. Ručne tehnike nanosa boje kistom i valjkom, koriste se kao pomoćni procesi. Njima se boja nanosi na teško dostupne površine (mjesto) koje zbog konstrukcije nije moguće bojati prskanjem. Prskanje se koristi na površinama objekta koji imaju relativno ravnu površinu. Polijevanje, kao proces, bojanja, koristi se u bojanju valovitih stranica distributivnog transformatora. Kako je valovita stranica izrađena savijanjem, a može imati dubinu i do 400 mm, kao takva nije pogodna za prskanje, već je boju na nju potrebno aplicirati polijevanjem. Pri tome se ravni dijelovi kotla, na primjer dno, prije procesa polijevanja, bojaju sa ručnom tehnikom (teško dostupna mjesta) i prskanjem. Pri ovome je važno napomenuti da se polijevanjem nanosi svaki sloj posebno na već osušeni prethodni sloj boje. Uglavnom se koristi dvoslojni sustav boja. Broj slojeva boje može biti i do šest, ovisno o željama naručitelja, odnosno zahtijevanoj debljini ukupnog sloja boje.



Slika 3. Prskanje, kao metoda nanosa boje. Ljevo- nanos boje u unutrašnjosti kotla, Desno ravne površine poklopaca pogodne su za nanos boje prskanjem.



Slika 4. Nanos boje polijevanjem

Nakon polijevanja kotao se vodi do komore za kapanje, gdje ostaje do trenutka kada se višak boje ocijedi i proces kapanja se zaustavi. U ovoj fazi bitno je da se na mjestima kapanja konstantno prikuplja boja, kako ne bi došlo do početka sušenja boje. Isto tako je bitno prikupiti boju koja se nalazi na vodoravnim površinama ispod valovitih stranica.

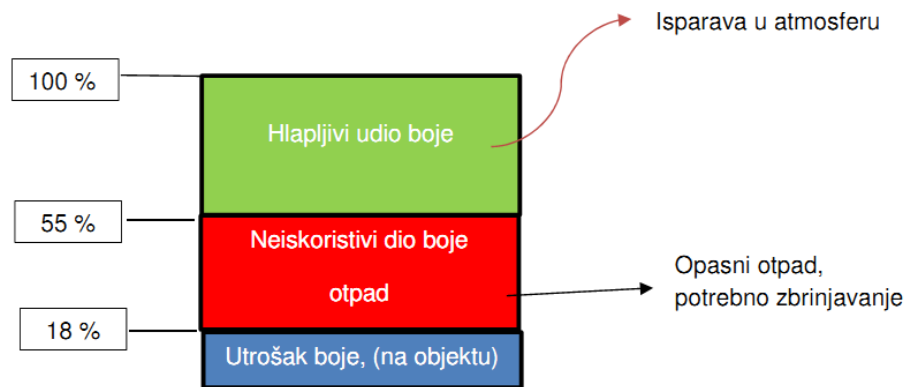


Slika 5. Prikupljanje viška boje valjcima. Lijevo iznad kade, desno u tunelu za prikupljanje boje

### 2.3 Iskoristivost materijala za bojanje

Pri bojanju, naročito pri polijevanju, velik dio boje nije moguće iskoristiti iz više razloga. Prvenstveno radi produktivnosti, radi se sa dvo-komponentnim bojama, gdje nakon miješanja i nakon određenog vremena (ca 2 – 5 sati) počinje proces vezanja komponenata. Proces je nepovratan, a neiskorišteni dio boje je otpad. Boje namijenjene za polijevanje su uglavnom sa niskim udjelom suhe tvari (suha tvar unutar boje gradi debljinu), odnosno sa većim udjelima otapala. Razlog tome je potreba da boja po proizvodu teče laminarno, kao i da brzina tečenja bude optimalna. Ukoliko je brzina prevelika, boja jednostavno klizne sa površina (ocijedi se), a ukoliko je brzina mala, sušenje boje dogodi se kada tečenje nije završeno i pri tome vizualni izgled površine nije prikladan. Jedan dio boje je potreban za punjenje sustava pumpa – kada. Nakon toga se jedan dio boje gubi u procesu kapanja i obiranja (slika 5.)

Raspored gore navedenih gubitaka dan je na slici 6.



Slika 6. Udio utrošene boje

### 3. ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA PRAŠKASTIM BOJAMA

Pod praškastim bojama podrazumijevamo sredstva koja se na površinu nanose u obliku praha. Prema sastavu praškasti materijali slični su mokrim bojama, ali ne sadržavaju otapala. Iz razloga ne postojanja organskih otapala, prah je prihvaćena kao zelena tehnologija. Sastav praha sadrži vezivno sredstvo, pigmente, aditive i punila. Vezivno sredstvo može biti epoksid, poliester ili polietilen. Nanos praha na objekt regulira se elektrostatikom. Pri tome prah na objektu tvori suhi film, koji se zatim u peći za polimeriziranje pretvara u čvrstu tvorevinu. Zbog te prirode nanosa greške tečenja, curki, prevelikog nanosa sloja, manje su izvjesniji. Također je potrebno napomenuti da je kod praškanja debljina filma, na horizontalnim i vertikalnim dijelovima je približno jednaka. Polimerizacija praha izvodi se u pećima za polimerizaciju. Polimerizacija teče u tri faze :

- Faza mekšanje, počinje na oko 80 °C
- Faza topljenja, počinje na oko 150 °C
- Faza polimerizacije, počinje na oko 200 °C i traje 10 – 15 minuta ovisno o debljini nanosenog sloja i o svojstvima praha.

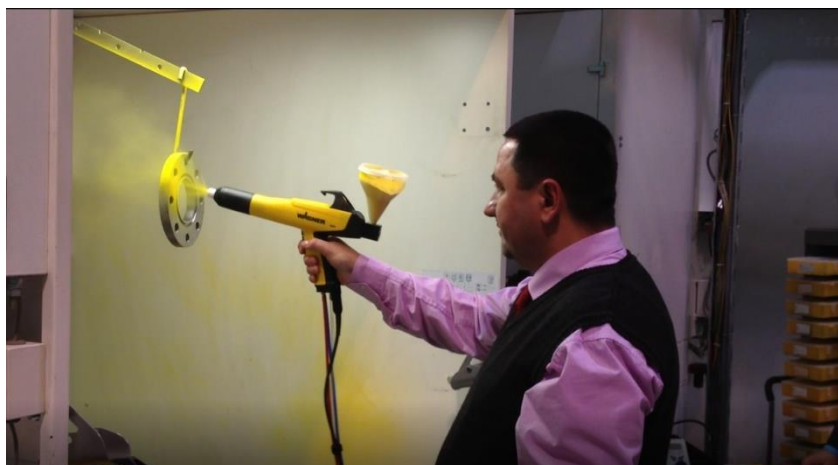
#### 3.1 Priprema površine za praškanje

Prije nanošenja praška, površinu je potrebno pripremiti. Površina mora biti odmašćena, pjeskarena ili kemijski pripremljena. Za razliku od pjeskarenja, kemijska priprema daje udio u antikorozivnoj zaštiti. Kemijska predobrada uključuje fosfatiranje, kromatiranje ili nanos nanokeramike (reaktivno sredstvo na bazi cirkonija). Oba procesa se mogu izvesti potapanjem ili prskanjem. Kemijska predobrada se često događa u više koraka i sastoji se od odmašćivanja, jetkanja, raznih ispiranja i na kraju fosfatiranje, kromatiranje ili nanosa nanokeramike. Kromatiranje se kao proces u predobradi danas vrlo rijetko koristi iz razloga što je proces štetan za ljude i okoliš. Pri ovome je bitno napomenuti da se proces predobrade radi u zatvorenom sustavu, da je potpuno automatski. Također kontrola parametara i preventivno održavanje, izvodi se automatski u unaprijed postavljenim ciklusima. Nakon nanošenja sloja, izradci se ispiru demineraliziranom, a potom se suše u svrhu otklanjanja vode sa obratka.

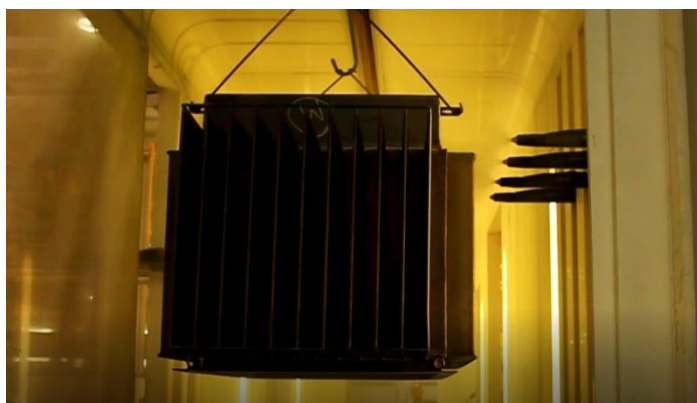
#### 3.2 Nanos praha

Nanos praha na površinu obratka može se izvesti na sljedeće načine:

- Štrcanjem praha, pištoljima, na objekt i to:
  - o Ručni nanos
  - o Automatski nanos
- Potapanjem izratka u kupku praha. (pogodan je za izratke jednostavnog geometrijskog oblika).



Slika 11. Nanos praha ručnom tehnikom. (Slika napravljena tijekom proba izvođenih u Wagnerovoj proizvodnji u Markdorfu - Njemačka



Slika 12. Automatska kabina za praškanje – Praškanje valovitog kotla (Wagner gmbh. Markdorf Njemačka)

### 3.3 Grijanje i polimerizacija

Nanesen prah na objektu potrebno je polimerizirati. Polimerizacija se radi u pećima, gdje se objekt zagrijava na temperaturu polimerizacije. Polimerizacija se vrši na temperaturama od  $170 - 200^{\circ}$  u trajanju od 10 – 30 minuta ovisno o veličini i masi objekta.

#### 4. SUSTAVI ZAŠTITE PRAHOM

Kako se preporuke standarda HRN EN ISO 12944-5 ne odnose na sustave zaštite sa prahom i elektroforezom, proizvođači praha razvili su tablice kao podloge za testiranja sustava u odnosu na vrstu podloge. [5] Sustavi praha u odnosu na vrstu podloge, odnosno predobrade dan su u tablici 1. Sustavi su preuzeti od proizvođača QUALITYSTEELCOAT.

Iz tablice je vidljivo da sa određenom pripremom površine sustav sa prahom može pokriti sve korozivne kategorije.

Tablica 1. Prikaz sustava praha u odnosu na zahtjevane korozivne klase

Base material	Number of powder coating layers		C1	C2	C3	C4	C5-M	C5-I
Steel	1	ST1						
	2	ST2						
	3	ST3						
Continuously galvanized steel	1	SZ1						
	2	SZ2						
	3	SZ3						
Hot-dip galvanized steel (batch-galvanized)	1	HD1						
	2	HD2						
	3	HD3						
Steel coated by thermal spraying (MS)	1	MS1						
	2	MS2						
	3	MS3						
Steel with 1 layer electrophoretic coating (STEC)	1	STEC2						
	2	STEC3						
Hot-dip galvanized Steel with 1 layer electrophoretic coating (HDEC)	1	HDEC2						

Pri tome oznake u tablicama znače:

- ST – površina bez ikakve dodatne zaštite
- SZ – kontinuirano cinčani lim
- HDG – vruće cinčanje
- MS – nanos metala prskanjem (cinka – hladno cinčanje ili aluminija)
- STEC – površina sa jednim slojem elektroforeze
- HDEC- vruće cinčana površina sa jednom slojem elektroforeze

## 5. USPOREDBA PROCESA AKZ MOKRIM BOJAMA I PRAŠKANJA

Usporedba između procesa AKZ mokrim bojama i praškom dana je u tablici 2.

Proces	Bojanje mokrim bojama	Bojanje praškastim bojama
Priprema površine	<p>Odmaščivanje / pjeskarenje</p> <p>Proces je ručni i izvodi se na dotrajaloj opremi. Automatizacija sa postojećom opremom nije moguća.</p> <p>Izvodi se u otvorenom sustavu</p> <p>Uvelike ovisan o čovjeku</p> <p>Ne povećava antikorozivnu zaštitu</p>	<p>Odmaščivanje / nanos zaštitnog sloja (fosfatiranje, nanokeramika) / niz ispiranja</p> <p>Automatiziran, sa automatskom kontrolom parametara.</p> <p>Izvodi se u zatvorenom sustavu</p> <p>Nije ovisan o čovjeku</p> <p>Ima udio u antikorozivnoj zaštiti</p>
Nanos boje	<p>Izvodi se ručno</p> <p>Proces štetan za čovjeka i okoliš. Ima veliki udio u emisiji otapala.</p> <p>Zbog načina aplikacije, okoliš mjesta aplikacije je neuredan, prostorija mora biti u ex-izvedbi.</p> <p>Proces kapanja iziskuje određenu duljinu lakirnice. Prostor za kapanje je kontaminiran bojom. Mora biti u ex-izvedbi</p> <p>Proces kapanja traje cca 1 h ovisno o veličini objekta.</p> <p>Generira velike gubitke boje (volumen boje potreban za punjenje sustava, volumen boje izgubljen prilikom kapanja, volumen hlapljivih tvari isparen sa objekta)</p> <p>Nanos jednog sloja boje u debljini do 60 – 80 µm. primjerice za C5-I potrebno nanijeti 280 – 320 µm boje. (4-5 ciklusa polijevanja)</p> <p>Okretanje kotlova nakon svakog ciklusa da bi se razlike u debljini boje (gore – dolje) anulirale</p> <p>Nakon svakog sloja potrebna intervencija čovjeka u otklanjanju neželjenih artefakata</p> <p>Boja na rubovima je u manjim nanosima nego na ravnim površinama</p> <p>Popravak oštećenja relativno lagan</p> <p>Izgled površine ovisan o spretnosti lakirera.</p>	<p>Izvodi se automatski, sa ručnom intervencijom na kraju procesa</p> <p>Proces manje štetan za čovjeka (udisanje praha). Emisije hlapljivih tvari su izrazito male</p> <p>Okoliš mjesta aplikacije je uredan. Aplikacija se izvodi u kabini.</p> <p>Prostor za kapanje je nepotreban</p> <p>Dodatno vrijeme za kapanje nije potrebno</p> <p>Generira neznatne gubitke. Kabina za praškanje ima povrat viška praška u spremnik, koji se ponovno koristi</p> <p>Nanos jednog sloja boje moguć i preko 100 µm. Primjerice za zaštitu C5-I uz predobradu i vruće cinčanje dovoljno praškanje u dva ciklusa</p> <p>Okretanje nije potrebno, razlike u debljini gore dolje nisu potrebne</p> <p>Pojava neželjenih artefakata je manje vjerojatna (horizontalne površine)</p> <p>Sloj praha na rubovima je veći zbog same prirode nanosa (elektrostatske sile su na rubovima jače nego na površinama)</p> <p>Popravak oštećenja unutar lakirnice relativno lagan, a na terenu popravak s prahom nije moguć. Popravak se izvodi sa kompatibilnim bojama.</p> <p>Izgled površine gladak, bez utjecaja operatera</p>
Iskoristivost materijala	Kod polijevanja iskoristivost materijala iznosi cca 20 – 30 %, kod prskanja 50 – 80 %	Kod praškanja iskoristivost od 85 – 95 %



## 6. ZAKLJUČAK

Postupak zaštite metala od korozije, pojavom praškastih boja, moguće je izvesti uz veću iskoristivost materijala, upotrebljavajući automatizirane sustave s velikom ponovljivošću kvalitete. Utjecaj te tehnologije na okoliš je neznatan u usporedbi sa bojanje mokrim bojama na bazi otapala. Pri tome je važno napomenuti da kvaliteta zaštite nije ugrožena.

## 7. LITERATURA

- [1] HRN EN ISO 12944 – Boje i lakovi -- Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sustavom boja
- [2] Corrosion protection – Inspector's book of reference Translation and update od Dan Kjernsmo, Kjell Kleven and Jan Scheie: "Overflatebehandling mot korrosjon", Universitetsforlaget, Oslo, 2. Oplag 2000. 1<sup>st</sup> edition 2003, reprinted 2009, 2011, 2013
- [3] HRN EN ISO 8501-1:2007 Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda -- Vizualna procjena čistoće površine -- 1. dio: Stupnjevi hrđanja i stupnjevi pripreme nezaštićenih čeličnih površina i čeličnih površina nakon potpunog uklanjanja prethodnih prevlaka
- [4] HRN EN ISO 12944 – 7. - 1998 Boje i lakovi -- Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sustavom boja -- 7. dio: Izvođenje i nadzor radova bojenja.
- [5] Qualisteelcoat – International Quality Label for Coated Steel – Technical Specification Version 4.0 – January 2017.