

Ivanka Radić, dipl.ing
ivanka.radic@koncar-dst.hr
Renata Jurišić, dipl.ing.
renata.juriscic@koncar-dst.hr
Branka Jakopović, dipl.ing.
branka.jakopovic@koncar-dst.hr
Končar - Distributivni i specijalni transformatori, d.d.

Damir Šinko, dipl.ing
Ferokotao d.o.o.
damir.sinko@ferokotao.hr

TEHNOLOGIJE I TRENDOWI U ZAŠTITI TRANSFORMATORA OD KOROZIJE

SAŽETAK

Transformatorski kotao je čelične konstrukcije i tijekom životnog vijeka transformatora izložen je utjecaju korozivnog okoliša i to najčešće utjecaju atmosferske korozije. Tehnologije zaštite transformatora od korozije su: zaštita organskim prevlakama, metalnim prevlakama (pocinčavanje) ili kombinacije ove dvije tehnike. Korozivna zaštita osim što štiti transformator od hrđanja mora zadovoljiti i estetiku tj. transformator se mora uklopiti u svoj okoliš.

Zakonska regulativa iz područja okoliša zahtjeva upotrebu ekološki prihvatljivijih prevlaka od kojih su najznačajnije boje na bazi vode.

U radu je opisana današnja tehnologija zaštite transformatora od korozije, kod nas, te svjetski trendovi kao i usporedba boja na bazi vode i boja na bazi otapala.

Ključne riječi: Zaštita od korozije, boje na bazi otapala, boja na bazi vode

TECHNOLOGY AND TRENDS IN CORROSION PROTECTION OF TRANSFORMER

SUMMARY

Transformer tank is a construction made of steel and during lifetime of transformer is exposed to the influence of corrosive environment, usually effects of atmospheric corrosion. Technologies of transformer corrosion protection are: application with organic coatings, metal coatings (galvanizing) or a combination of these two techniques. Corrosion protection of transformer must also satisfy aesthetics aspect, so transformer must fit into environment.

The environment legislations require usage of environmentally friendly coating. The most important are water –based paints.

This report describes nowadays technology of transformer corrosion protection, global trends and comparison of water-based paints with solvent based paint

Key words: Corrosion protections, solvent based paint, water based paint

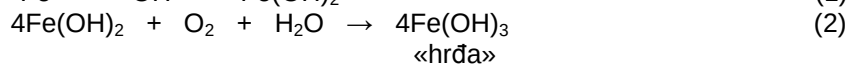
1. UVOD

Transformatorski kotao (kao i ostali pripadajući dijelovi kao što su: poklopac, konzervator, hladila, priključni i upravljački ormarići) je čelične konstrukcije i podložen je atmosferskoj koroziji.

Korozija predstavlja nenamjerno razaranje konstrukcijskih materijala uzrokovano fizikalnim, kemijskim i biološkim agensima. Koroziju čini skup kemijskih i elektrokemijskih promjena tijekom kojih metal prelazi od elementarnog stanja u spojeve u kojima se nalazi najčešće u prirodi. To je ireverzibilan proces, prirodna težnja metala da reagira s drugim tvarima te prelazi iz stanja više energije u stanje niže energije. Korozija skraćuje vijek trajanja konstrukcija, uzrokuje gubitke u proizvodnji, havarije i nesreće te nerijetko i ekološke katastrofe [1].

Atmosferska korozija je najrašireniji oblik korozije i rezultat je djelovanja dva čimbenika, kisika i vlage. U nedostatku jednog od njih ne dolazi do korozije. U suhom zraku ili kod relativne vlažnosti ispod 60%, čelik ne hrđa. Atmosferska korozija je posebno jaka u industrijskim i u primorskim predjelima. U današnje vrijeme je potrebno puno više posvetiti pažnje koroziji metala nego ranije a jedan od glavnih razloga je pojačana korozivnost okoline uslijed povećanog zagađenja vode, zraka i tla.

Najzastupljeniji konstrukcijski materijal je čelik. Za konstrukciju transformatorskih dijelova koriste se najčešće obični ugljični nelegirani čelici (željezo s malim primjesama ugljika, magnezija, fosfora..). Standardni elektrodni potencijali željeza ($E^0(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}) = -0,440$; $E^0(\text{Fe}/\text{Fe}^{3+}) = -0,040$ V) ukazuju da se pri korozijskim procesima aktivnog otapanja željeza najprije stvara bijeli $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (1) koji uslijed daljnje oksidacije s kisikom iz zraka prelazi u smeđi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ –hrđa (2).



Nehrđajuću čelici (visokolegirani čelici s dodatkom kroma, nikla i molibdena) su korozijski otporni prema atmosferskoj koroziji, no njihova primjena za transformatorske dijelove je puno manja.

Razvijene su i koriste se različite tehnike i sustavi za zaštitu transformatorskog kotla i ostalih pripadajućih dijelova od korozije a najčešće su zaštite prevlakama. Prevlakama se odvaja agresivni okoliš od osnovnog konstrukcijskog materijala pri čemu organske prevlake predstavljaju mehaničku zaštitu dok metalne prevlake predstavljaju osim mehaničke i elektrokemijsku zaštitu (katodna zaštita žrtvovanom anodom). Zaštita od korozije se može povećati i dodatkom inhibitora u temeljnu boju. Temeljni sastojci organskih premaza su: veziva, pigmenti i otapala. Otapala su organski sastojci ili voda u kojoj se vezivo otapa i upotrebljava se za postizanje određene viskoznosti. Tijekom aplikacije i sušenja otapalo isparava. Suhi film ne sadrži više otapalo koje je isparilo u atmosferu u obliku hlapivih organskih spojeva (VOCs – Volatile Organic Compounds). VOCs ima negativan i toksičan utjecaj na okoliš. Dosadašnja praksa kod nas je korištenje boja na bazi organskih otapala. No svjetski trendovi, u zaštiti transformatora od korozije su korištenje ekološki prihvatljivijih premaza, a to su boje na bazi vode.

Odabir adekvatne zaštite je ključan faktor u zaštiti transformatora. Pri tome posebnu pozornost treba posvetiti klimatskom području u kojem će transformator biti smješten. Različiti su intenziteti korozije ovisno o klimatskom području. Pri odabiru zaštite treba voditi računa i o drugim faktorima: postojanost na visokim i niskim temperaturama, temperaturni stresovi, vibracije, otpornost na UV zračenje itd.

Vrste zaštite koje se najčešće koriste u zaštiti Končar D&ST transformatora su: zaštite prevlakama, vruće pocinčavanje ili kombinacija ove dvije tehnike. Proces zaštite zahtjeva više procesa: pripremu površine, nanošenje prevlake, kontrola debljine i prionjivosti premaza. Sve faze u tehnologiji zaštite će biti detaljnije opisane u radu s posebnim osvrtom na boje na bazi vode.

2. TEHNOLOGIJE U ZAŠTITI TRANSFORMATORA OD KOROZIJE

Proces korozivne zaštite transformatora podrazumijeva više koraka: nakon odabrane adekvatne zaštite, pristupa se pripremi površine koja je najvažniji preduvjet dobre zaštite. Nakon pripreme slijedi proces nanošenja pojedinih slojeva prevlake te na kraju neizbježna kontrola zaštite. Proces korozivne zaštite je prikazan u Tablici I.

Vrsta korozivne zaštite se određuje prvenstveno prema klimatskoj zoni i mjestu gdje će se transformator koristiti, što je prikazano u Tablici II i III, a definirano normom HRN EN ISO 12944-2 [2]. Prilikom odabira zaštite mora se voditi briga i o drugim faktorima: temperaturi unutrašnjosti transformatora, temperaturnim stresovima, utjecaju kondenzacije, abrazivnom utjecaju okoline, otpornosti na UV zračenja. Prilikom odabira zaštite moraju se i uzeti u obzir i zahtjevi kupca kao što su: zahtjev za različitim nijansama različitih slojeva, specijalnim dodatcima u premazima, završna nijansa boje, itd.

Tablica I. Proces korozivne zaštite transformatorskih kotlova

1.Odabir odgovarajuće zaštite	- lokacija transformatora (otvoreni / zatvoreni prostor) - klimatska zona - temperatura okoline (-40^odo +50^o), - temperatura unutrašnjosti kotla tj. zagrijavanje unutrašnjosti, - temperaturni stresovi, -abrazivni utjecaj okoline (npr. pijesak u pustinji), -utjecaj kondenzacije, vibracije koje proizvodi transformator tijekom rada, -otpornost na UV zrake -posebni zahtjevi kupca (zahtjev za specijalnim dodatcima u premazima, zahtjev za posebnim nijansama i sl.).
2.Priprema površine	-odmašćivanje -mehanička predobrada (sačmarenje, pjeskarenje...) -kemijska obrada -kemijsko i elektrokemijsko poliranje
3.Nanošenje prevlake	a) -temeljni sloj boje -temeljni sloj boje obogaćene cinkom -vruće cinčanje
	b) međusloj za postizanje debljih nanosa
	c) završni sloj tražene nijanse
4.Završna kontrola	-mjerjenje debljine nanosa -mjerjenje adhezije premaza -estetski izgled površine (nečistoće, grudice ili grubi nanos, tragovi curenja boje, prijelazi nijansi...).

Tablica II. Klimatske atmosferske zone

Kategorija	Klimatska zona – otvoreni prostor	Klimatska zona – zatvoreni prostor
C1		Grijane zatvorene prostorije (zgrade), sa čistim zrakom
C2	Niski stupanj zagađenosti zraka. Ruralna područja	Negrijane prostorije, gdje postoji mogućnost kondenzacije (skladišta, dvorane)
C3	Naselja i industrijske zone sa umjerenom koncentracijom sumpornog dioksida. Obalna područja sa niskim salinitetom.	Proizvodne hale sa visokom vlažnošću, uz niski stupanj zagađenosti zraka (prehrambena industrija).
C4	Industrijske zone i obalna područja sa umjerenim salinitetom	Kemijska industrija, priobalne zgrade, blizina bazena
C5 I - industrija	Industrijske zone sa visokom vlažnosti i agresivnom atmosferom	Prostorije sa stalnom kondenzacijom i visokim stupnjom zagađenosti zraka
C5 M - more	Obalna i morska područja sa visokim salinitetom.	

Tablica III. – Klimatske zone u vodi i tlu

Kategorija	Klimatska zona – voda i tlo	Primjeri
Lm1	Slatka vode	Konstrukcije u slatkoj vodi i rijekama (hidrocentrale)
Lm2	More i slana voda	Brane, pristaništa, naftne platforme
Lm3	Tlo	Ukopani spremnici i cjevovodi, čelični piloti..

Sustavi zaštite su definirani normom HRN EN ISO 12944-5. Prema ulaznim podacima: klimatska zona i tražena trajnost zaštite, norma daje mogućnost za odabir sustava. Od sustava boja definirane normom za transformatore se koriste alkidi (AK), epoksidi (EP), poliuretani (PUR) i akrilne boje na bazi vode (AY). Alkidni sustav je pogodan za samo niže klimatske razrede (C1, C2 i C3) no zbog visokog udjela otapala se više ne koristi. Najzastupljeniji sustavi zaštite transformatora su: dvokomponentni (2K) EP+PUR sustav na bazi otapala (kod nas) i jednokomponentni (1K) AY sustav na bazi vode (u svijetu). Svaki od njih može se provoditi u kombinaciji za Zn-slojevima.

2.1. Priprema površine

Prije nanošenja prevlake, površinu osnovnog materijala treba pripremiti tako da se uklone ostatci troske, masnoća, oksidi, hidroksidi i ostali spojevi koji su nastali prethodnim tehnološkim postupcima. Postupci pripreme mogu biti mehanički, kemijski i elektrokemijski (Tablica IV). Priprema površine osigurava prionjivost temeljnog premaza na površinu.

Tablica IV. Postupci pripreme površine

Mehanička predobrada	Odmašćivanje	Kemijska obrada	Kemijsko i elektrokemijsko poliranje
- grebanje ili četkanje abrazivnim sredstvom u bubnjevima koji rotiraju - obrada mlazom vode (50 do 1500 Pa) - pjeskarenje (SiO_2) - sačmarenje (metalna sačma) - brušenje (brusne ploče)	- kade s odmašćivačima (lužine, trikloretilen) - elektrokemijsko odmašćivanje - odmašćivanje ultrazvukom	- nagrivanje - dekapiranje - elektrokemijska obrada	- mehaničko poliranje na tocilima - elektrokemijsko poliranje - kemijsko poliranje - pasiviranje

Tehnika koju najčešće koristimo je abrazivno čišćenje – sačmarenje do potrebne hrapavosti i čistoći prema normi HRN EN ISO 8501 [3] (Slika 1). Za dijelove koji će se bojati se koristi razred Sa2½ (vrlo temeljito čišćenje abrazivom), a za postupak plamenog cinčanja obavezan je razred Sa3 (čišćenje mlazom abraziva do čistog metala). Na dijelovima iz tankog lima (valoviti kotao), nehrđajućeg čelika, mesinga i sl. koristi se priprema površine odmašćivanjem (pranjem s ekološkim sredstvom).



Slika 1. Razredi čistoće metalne površine prema HRN EN ISO 8501, i sačmareni kotao Sa2½

2.2. Nanošenje prevlake

Prevlačka mora biti tvrda, elastična, otporna na kemijske agense, treba dobro prijanjati na podlogu te mora biti izolator električne struje.

Na svježe pripremljenu površinu aplicira se boja, različitim tehnikama: polijevanjem, uranjanjem ili špricanjem. Boja se nanosi u dva i više slojeva: temelj, međusloj i završni sloj (Slika 2). Temeljni sloj boje dolazi direktno na površinu metala, te mora dobro prijanjati uz metal i pružiti aktivnu zaštitu od korozije. Stoga se temeljnim bojama dodaju specijalni pigmenti kao cink fosfati, cink u prahu ili cink listić te metalne čestice željeznog oksida. Međusloj povećava zaštitna svojstva sistema barijernim efektom, te osigurava prionjivost između dva sloja. Završni sloj boje osim što određuje konačnu nijansu, sjaj i dekorativnost, mora zadovoljiti i otpornost na vanjske utjecaje (UV zračenje, temperatura, zagađenost zraka). Ukupna debljina premaza za zaštitu transformatora se kreće od 120-360 μm (tablica V).



Slika 2. Prikaz pojedinih slojeva premaza

Za nanošenje svakog sloja površina mora biti suha, čista i dovoljno hrapava kao bi se mogla postići prionjivost između slojeva. Sušenje se vrši u komorama na 40°C – 100°C , što ovisi o vrsti boje (vodena ili na bazi otapala), a vremenskim interval sušenja se kreće od 45 minuta do 3 sata, što ovisi o veličini proizvoda (sitni dijelovi ili veliki kotlovi). Prije nanošenja međusloja ili završnog sloja površine se moraju dodatno hrapaviti radi bolje prionjivosti.

Tablica V. Pregled kombinacija slojeva i ukupnih debljina (μm)

Završni sloj						
Međusloj			2x			
Temeljni sloj						
Zn sloj						VZn
Debljina / μm	120-180	180-270	240-320	160-260	220-360	45-100

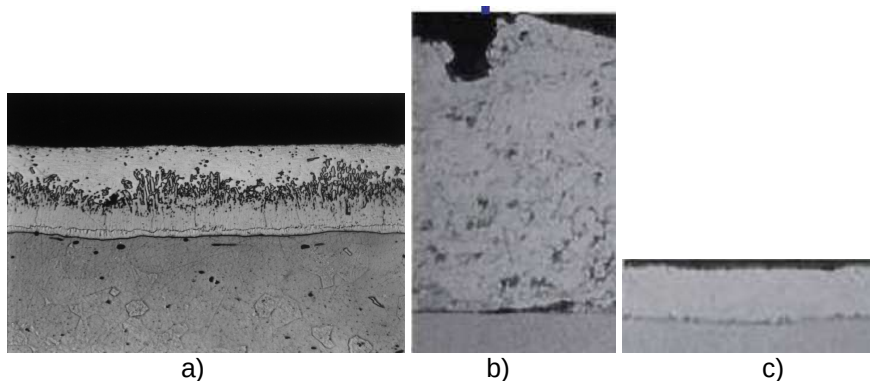
2.2.1. Slojevi cinka (vruće cinčanje/galvansko cinčanje) ili temeljne boje obogaćene cinkom – katodna zaštita

Ovi slojevi se koriste za agresivnije atmosfere i kod zahtjeva za debljim slojem AKZ-a, tj. klimatske zone C4 i C5. Vrste Zn slojeva su:

Vruće cinčanje – uranjanje u kadu sa rastopljenim cinkom na temperaturi oko 450°C . Koristi se za valovite kotlove i poklopce, te pojedinu opremu (hladila, zatvorene priрубnice i sl.). Ovo je jedini postupak u ovoj skupini koji može biti i završni, tj. nema naknadnog bojanja. Radi se o višefaznoj prevlaci (γ, δ, ξ – Zn/Čelik legure, ε – 100%Zn), nema pora, površina je glatka i ima izuzetnu otpornost na atmosferske uvjete. Debljina sloja 45 – 100 μm (ovisno o materijalu i debljini lima: 1 - 20mm).

Plameno cinčanje – naštrcavanje rastopljene žice cinka pištoljem. Koristi se kod velikih konstrukcija koje se ne mogu vruće pocinčavati. Radi se o vrlo poroznoj mikrostrukturi i velike hrapavosti površine. Potrebna je vrlo dobra priprema sačmarenje (Sa3). Obavezan je naknadni nanos temeljnog sloja za zatvaranje pora i završnog sloja za stvaranje otpornosti prema atmosferskim uvjetima. Debljina sloja: 80 - 150 μm .

Galvansko cinčanje – elektrokemijski postupak prevlačenja cinkom. Koristi se za vijčanu robu i sitne dijelove, gdje bi se ostalim postupcima narušile tolerancije dimenzija. Površina je glatka i nema pora. Debljina sloja je vrlo mala: 5 – 10 μm .

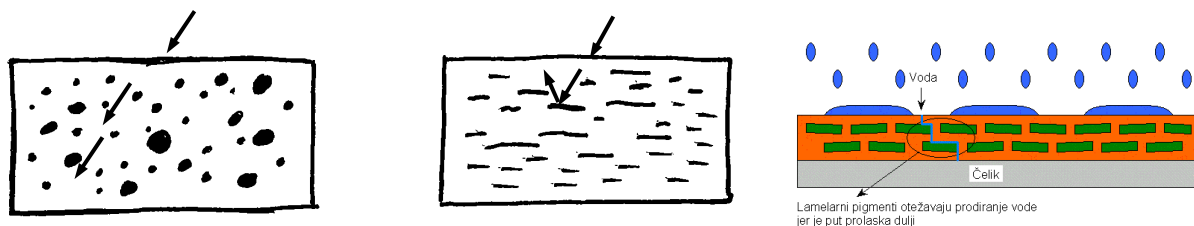


Slika 3. Mikrostruktura a) vruće cinčane; b) plameno cinčane c) galvanski cinčane

Bojanje temeljnom bojom obogaćenom cinkom – špricanje ili polijevanje boja sa strukturnim dodatkom cinka u obliku: praha (zinkstaube) ili listića (zinkflake).



Slika 5. Postupak polijevanja i špricanja



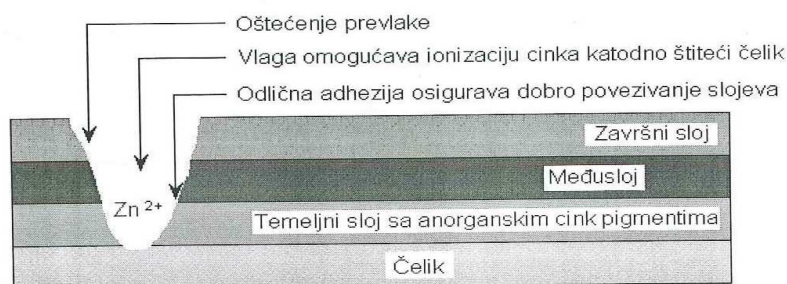
Slika 4. Otpornost strukture boje na vanjske uvjete: praškasti pigmenti, lamelarni pigmenti (listići)

Boja sa cinkom u prahu sadrži 94% cinka, i pogodna je samo za postupak špricanja, dok boja sa cinkom u listićima sadrži oko 65% cinka i koristi se za postupak polijevanja (a može se i špricati). Boja sa cinkom u listićima ima jednu prednost, a to je njezin lamelarni raspored listića koji blokira vanjske utjecaje (UV zračenje, prodiranje vode, mehanička i temperaturna naprezanja), ali ima manje cinka u strukturi.

Špricanjem se dobivaju debljine 60 - 100 μm , a polijevanjem 40 - 70 μm zbog svojstva samog tečenja boje sa cinkom u listićima.

Prevlake cinka štite čelik osim mehaničkom i katodnom zaštitom (Slika 5). Katoda sustava je sam čelik a cink predstavlja anodu (žrtvovani metal) – anodni protektor. Spajanjem dva različita metala različitih elektrodni potencijala, između njih protječe zbog razlike potencijala struja, a elektrolit je vlažni

film na površini metala. Čelik se polarizira katodno a cink anodno, te se u porama ne otapa temeljni metal čelik nego cink.



Slika 6. Katodna zaštita s temeljnom bojom na bazi cinka

3. SVJETSKI TRENDOWI U KOROZIVNOJ ZAŠTITI TRANSFORMATORA

Zakonske regulative iz područja zaštite okoliša u svijetu, posljednjih godina, nameće određena pravila za proizvodnju premaza kao i ograničenja u području primjene premaza i tehnologije same zaštite. Naša zakonska regulativa, se prilagodila zahtjevima Europske Unije koja nalaže smanjenje količinu organskih otapala - otpadnog otapala kao i emisija otapala u zrak (Zakon o zaštiti zraka, Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih tj. VOC i HOS regulative). Kao posljedica toga, svjetski trendovi su:

- izbacivanje jednokomponentnih boja na bazi otapala, zbog visokog udjela otapala.
- zamjena plamenog cinčanja sa temeljnim bojama obogaćenim cinkom
- korištenje boja na bazi vode
- korištenje boja sa izuzetno niskim udjelom organskih otapala (high-solid)
- kombinacija boja na bazi otapala i boja na bazi vode
- praškasti sustavi zaštite (plastifikacija)
- KTL sustav - Cathodic E-dip coating

Trend u svijetu bojanja transformatora je korištenje boja na bazi vode i to najzastupljeniji su jednokomponentni akrilni sustavi (1K Ay). Ovi premazi su već u upotrebi skoro 30 god., te se i dalje usavršavaju kako bi imali slične ili bolje karakteristike od boja na bazi otapala, a cijeli taj razvoj ubrzavaju navedene zakonske regulative.

3.1. Boje na bazi vode (1K Ay) i njihova usporedba s bojama na bazi otapala (2K EP-PUR)

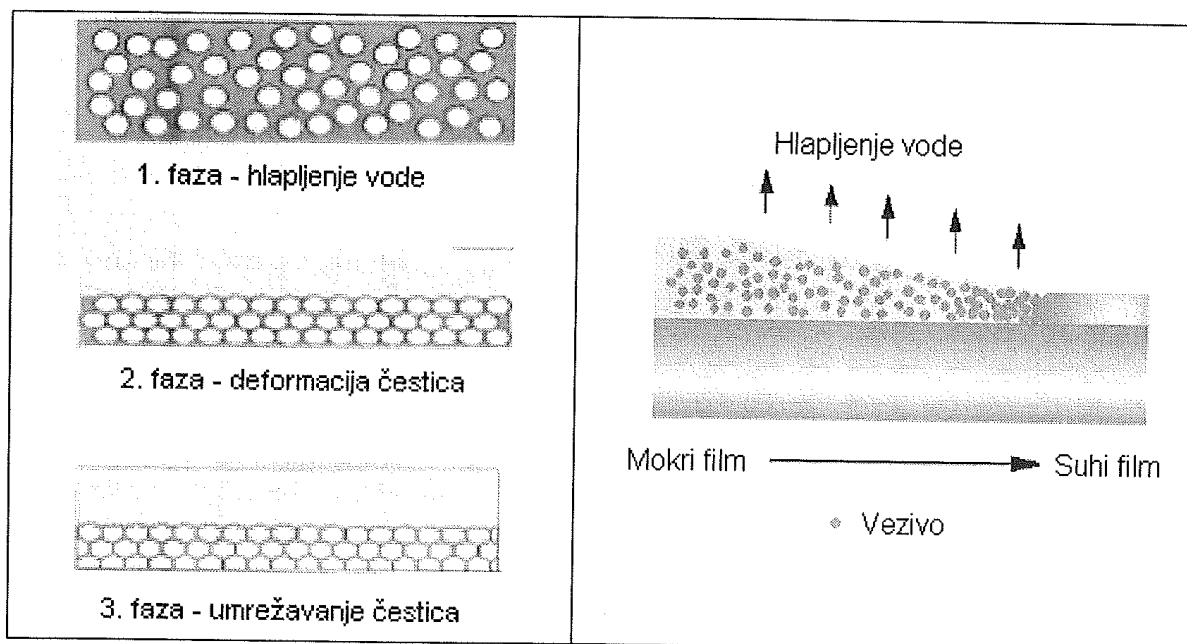
Akrilne boje na bazi vode su u upotrebi dugi niz godina. Posljednja generacija ovih boja se usavršila do mjere da je kvalitetom usporediva s bojama na bazi otapala.

Sastav boja na bazi vode je sličan sastavu boja na bazi otapala: vezivo, pigmenti, otapalo, inhibitori i ostali aditivi. Kao otapalo se koristi voda (s malim udjelom organskih otapala, <5%). Razrjeđivač je također voda. Veziva moraju biti topiva u vodi, a kao najčešće korištena su veziva na bazi jednokomponentnih akrilnih smola. Budući da nema otpadnih organskih otapala te emisija otapala u zrak prilikom sušenja ove boje su ekološki prihvatljive.

Tablica VI. Prednosti i nedostaci vodorazrejdjivih premaza

Prednosti	Nedostaci
Ekološki prihvatljivi -Smanjenje emisija hlapivih organskih spojeva (VOC)	Zahtijevaju izrazito čistu površinu bez masnoća i prašine
Minimalan ili eliminiran opasni otpad	Potrebno dulje vrijeme sušenja
Primjena konvencionalnih postupaka nanošenja	Imaju tendenciju stvaranja pjene
Ekonomski prihvatljivi (cijena usporediva otapalnim premazima)	Osjetljivi su na visoku vlagu
Mala zapaljivost	Teško se postižu visoko sjajni premazi
Lako čišćenje alata s vodom	Imaju manju temperaturnu otpornost
Prionjivost premaza, tvrdoća, elastičnost, otpornost na starenje, ponašanje na niskim tem.- usporedivo s bojama na bazi otapala.	Relativna vlažnost mora biti u rasponu od 50-70%, ali ne preko 85%. Temperatura aplikacije ne ispod 12°C

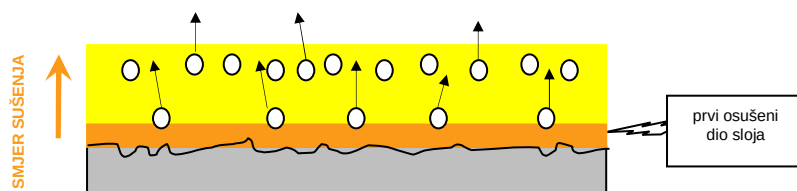
Mehanizam stvaranja filma je prikazan na Slici 7. Tijekom sušenja polimerne čestice se umrežuju stvarajući visokootporan homogen film. Proces je ireverzibilan tj. dobiveni film premaza se ne može otopiti s vodom niti nekim drugim otapalom.



Slika 7. Mehanizam stvaranja filma boja na bazi vode (vodenih disperzija)

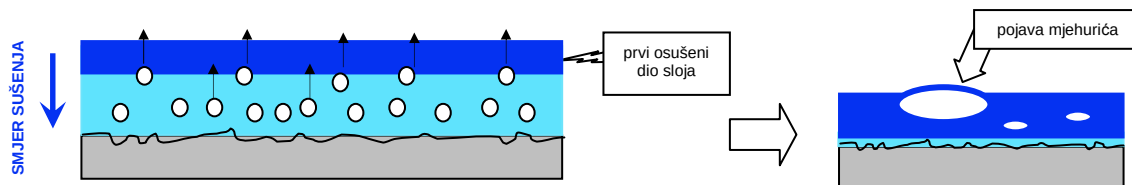
Najveća razlika između 1K AY i 2K EP-PUR je u dinamici sušenja, organska otapala su brzo hlapljiva, a voda nije.

Osnova sušenja je oslobađanje otapala (otplinjavanje) iz boje uz reakciju stvaranja kompaktnog sloja. Pri tome boje na bazi organskih otapala reagiraju brže, i reakcija kreće od podloge prema vanjskoj površini.



Slika 8. Dinamika sušenja 2K EP+PUR sustava

Kod 1K AY vodenih boja reakcija je sporija, sušenjem otapalo (voda), pod utjecajem povišene temperature, prije stvori osušeni sloj na površini nego što se stigne osloboditi otapalo iz unutrašnjosti sloja.



Slika 9. Dinamika sušenja 1K AY vodenog sustava

Zbog toga je kod tih boja obavezno: nanošenje tanjih slojeva, korištenje perioda "mirovanja" od prosječno 1 sat prije sušenja, tretiranje na nižim temperaturama sušenja, te korištenje dužeg vremenskog perioda "mirovanja" nakon sušenja do potpune prosušenosti cijelog sloja. Potpuna prosušenost sloja vodenog sustava je najbitnija kod temeljnog sloja, jer se mora zadovoljiti prionjivost na metalnu podlogu.

Dobra svojstva u primjeni su pokazali hibridni sustavi - kombinacija dvokomponentnog sustava na bazi otapala kao temelj, i jednokomponentni vodeni međusloj i završni sloj.

4. ZAKLJUČAK

Transformatorski kotao je tijekom životnog vijeka transformatora izložen utjecaju agresivnog okoliša. Budući da je čelične konstrukcije nužno ga je zaštititi od korozije. Najzastupljeniji sustavi zaštite transformatora od korozije su: dvokomponentni epoksi – poliuretanski sustavi (2K) EP+PUR sustav na bazi otapala (kod nas) i jednokomponentni akrilni sustavi (1K) AY - sustav na bazi vode (u svijetu). Zakonskom regulativom zaštite okoliša postepeno se prestaju koristiti boje na bazi otapala te se i na našim područjima sustav na bazi vode počeo upotrebljavati u sve većoj mjeri. Tehnologija pripreme površine, nanošenja pojedinih slojeva i kontrola se ne razlikuje kod ova dva sustava. Najveća razlika je u dinamici sušenja koja kod vodenih boja traje duže.

Akrilne boje na bazi vode su u upotrebi već 30 godina, kvaliteta je jednaka kvaliteti otapalnih boja a također su i ekonomski prihvatljivi tj. cijena je usporediva s cijenama boja na bazi otapala. Mogući su također i hibridni sustavi (otapalne boje-vodne boje), koja su u praksi pokazala također dobra svojstva.

Zbog zaštite okoliša i ljudi sustavi na bazi vode kao i hibridni sustavi zauzet će u skoroj budućnosti vodeće mjesto u zaštiti transformatora od korozije i kod nas.

5. LITERATURA

- [1] E. Stupnišek-Lisac "Korozija i zaštita metalnih materijala", Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2007.
- [2] "HRN EN ISO 12944 - Boje i lakovi – Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija sustavom boja", norma, 1998.godina
- [3] "HRN EN ISO 8501 - Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda – Vizualna procjena čistoće površine", norma, 2007.godina
- [4] Hans-Jürgen Gessner, "Coating material – Chemical technical solutions for transformers and radiators", publikacija, CHING, Erlangen, Njemačka, 2009.godina
- [5] Michael Seidler, Rolf Engh, "Beschichtungssysteme für Radiatoren und Transformatoren", publikacija, VALSPAR, Eschweiler, Njemačka, 2002.godina
- [6] Nada Rački – Weihnacht "Boje i lakovi jučer danas sutra", Zagreb, 2004.
- [7] Hrvatsko društvo za zaštitu materijala, "Zaštita od korozije primjenom premaza", Seminar, Zbornik radova, Zagreb, Hrvatska, 2007.godina
- [8] Ž.Martinković, I. Stojanović „Zaštita čeličnih konstrukcija ekološkim premazima i primjeri iz prakse“, 19. Savjetovanje o zaštiti materijala i industrijskom finišu KOROMAT 2010.
- [9] Joseph Beno, Eric Eisenhart, Gary R. Larson, Leo J. Procopio, William J. Rosano, Stewart O. Williams „Waterborne Acrylic Coatings for Use in Industrial Facilities“, Spring House , PA 19477
- [10] V. Alar „Prevlake i prevlačenje“, Sveučilišni poslijediplomski studij korozija i zaštita, Interna skripta, 2008.