

LJILJANA RAŠKOVIĆ<sup>1</sup>,  
DUŠICA SAMARDŽIĆ<sup>2</sup>  
BRATISLAV MILOŠEVIĆ<sup>2</sup>

Originalni naučni rad  
UDC:620.197.6

## Vodorazredivi dvokomponentni poliuretanski premazi u zaštiti naoružanja i vojne opreme

Vodorazredivi dvokomponentni poliuretanski premazi predstavljaju najnoviju tehnologiju u industriji boja i lakova. Ekološki su prihvatljivi, jer se za proizvodnju i primenu u premazima koristi voda umesto organskih rastvarača. Poznato je, da se u industrijski razvijenim zemljama, ova tehnologija dokazala u zaštiti automobila, aviona, energetskih i drugih industrijskih postrojenja. U tom cilju istraživane su mogućnosti da se ova tehnologija primeni u zaštiti naoružanja i vojne opreme. U ovom radu urađen je nov komponentni sastav premaza i modifikovan tehnološki postupak izrade, kako bi se ostvarili osnovni zahtevi antikorozivnih i maskirnih svojstava u vodorazredivim dvokomponentnim poliuretanskim premazima. Premazi, razvijeni po novoj tehnologiji maskirnih boja (zeleno svetla, braon i crna) ispitivani su po standardima odbrane SORS 1564/03 i SORS 8655/11. Pored standardnog ispitivanja, izvršeno je i ispitivanje zaštitnih sistema sa čisto vodorazredivim bojama i kombinovanih zaštitnih sistema sa vodorazredivim i bojama na bazi organskih rastvarača.

Dobijeni rezultati ukazuju da su Vodorazredive dvokomponentne poliuretanske pokrivne maskirne boje zadovoljile zahteve kvaliteta pokrivne boje, namenjene za antikoroziju i maskirnu zaštitu naoružanja i vojne opreme. Rezultati ispitivanja zaštitnih sistema, pokazali su da ispitivani sistemi poseduju zadovoljavajući nivo kvaliteta fizičko- mehaničkih karakteristika, hemijske postojanosti i zaštitne sposobnosti. Rezultati ispitivanja kombinovanih sistema ukazuju na dobru kompatibilnost ispitivanih vodorazredivih boja i boja na bazi organskih rastvarača.

**Ključne reči:** Vodorazredivi dvokomponentni poliuretani, umrežavanje, maskirni pigmenti, refleksija

### 1. UVOD

Vodorazredivi dvokomponentni poliuretanski premazi, predstavljaju najnoviju tehnologiju u industriji boja i lakova. Poseduju izvanredna svojstva, podjednaka kao i svojstva dvokomponentnih poliuretanskih premaza, koji se razređuju organskim rastvaračima, a imaju tu prednost da sadrže smanjenu količinu isparljivih organskih jedinjenja. Današnje vodorazredive dvokomponentne formulacije poliuretanskih premaza, sadrže ispod 220 grama isparljivih organskih jedinjenja po litru proizvoda, a razvojem ove tehnologije teži se ka njihovoj potpunoj eliminaciji.

Razvoj vodorazredivih premaza i sirovina za proizvodnju istih, započeo je pedesetih godina prošlog veka, uglavnom u industrijski razvijenim zemljama sa pojavom zakonske regulative za zaštitu okoline sredine. Ekološki su prihvatljivi [1-5], jer se za proizvodnju i primenu u premazima koristi voda, umesto organskih rastvarača, koja ima prednosti u nezapaljivosti i neotrovnosti. Međutim, treba imati u vidu da se fizička svojstva vode i organskih rastvarača bitno razlikuju. Upravo zbog toga je formulisanje vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih premaza u odnosu na dvokomponentne

poliuretanske premaze, koji se razređuju organskim rastvaračima, mnogo složenije, a cena konačnog proizvoda veća. U postupku primene, razlike nisu uočene pri nanošenju vodorazredivih poliuretanskih premaza u odnosu na poliuretanske premaze, koji se razređuju organskim rastvaračima.

Izgled filma prevlake uglavnom je uslovljen tehnikom nanošenja. Kod postuka nanošenja raspršivanje od velike važnosti je da se koriste dizne odgovarajuće veličine, a oprema za raspršivanje mora imati odgovarajući kapacitet i izlazni pritisak. U sistemima sa osnovnim epoksi premazima na bazi vode ili organskih rastvarača, vodorazredivim dvokomponentnim poliuretanskim premazima obezbeđuje se dobra zaštita od korozije, mehanička otpornost i svetlosna postojanost uz zadržavanje boje i sjaja.

Specifikacija kvaliteta pokrivnih prevlaka za zaštitu naoružanja i vojne opreme u pogledu maskirnosti, determinisana je od strane nacionalnih armija svake zemlje. U okviru toga nijansa-ton i veličina refleksije determinisani su sa standardima. Izborom pigmenta sa maskirnim svojstvima u vodorazredivim dvokomponentnim formulacijama poliuretanskih pokrivnih premaza, ostvaruju se propisane vrednosti refleksije i tona. Na taj način omogućeno je "utapanje" vojnih objekata u okolinu, kako pri vidljivoj, tako i pri infracrvenoj svetlosti.

Adrese autora: <sup>1</sup>Niš, Nikole Pašića 65/14, <sup>2</sup>Vojno-tehnički institut, Ratka Resanovića 1, Beograd

Rad primljen: 10.11.2012.

### 1.1. Razvoj i struktura vodorazredivih dvokomponentnih poliuretana

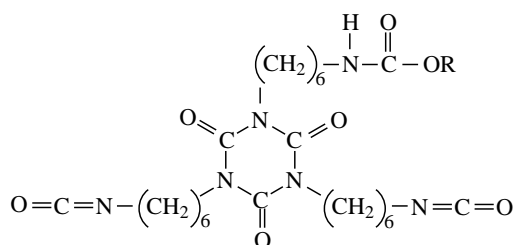
Stvaranje poliuretana zasnovano je na visokoj reaktivnosti izocijanatne grupe polifunkcionalnog izocijanata, koja reaguje lako sa hidroksilnim grupama polifunkcionalnog polimera, uz formiranje stabilnih poliuretana i stvaranje strukture unakrsnim povezivanjem [6]. Pri tome ne dolazi do izdvajanja sporednih proizvoda. Najznačajnije je u osnovi izgradnja uretanske veze, reakcijom adicije, pri čemu se vodonik iz hidroksilne grupe adira na azot iz izocijanatne grupe [7].

Za industriju boja i lakova, komercijalno su raspoloživi derivati većih molekularnih masa polifunkcionalnih izocijanata, jer su u zdravstvenom pogledu bezbedniji od monomernih diizocijanata u uslovima proizvodnje i primene. U procesima dobijanja derivata većih molekularnih masa, nastaju različite strukture: stvaranje adukta, obrazovanje biureta, polimerizacija diizocijanata uz nastajanje izocijanurata.

Razvojem vodorazredivih dvokomponentnih poliuretana, uključuje se i razvoj novih tipova poliiizocijanata [8]. U tom pogledu korišćena su dva osnovna pristupa:

- U prvom pristupu predlaže se upotreba konvencionalnih poliiizocijanata, najviše izocijanuradni trimer na bazi HDI-heksametilendiizocijanata, po mogućnosti u niskoviskoznoj formi. Ovaj pristup se oslanja na emulzifikaciona svojstva vodorazredivih poliola, da bi se pomoglo homogeno dispergovanje poliiizocijanata. U nekim slučajevima, bolje dispergovanje treba ostvariti pomoću razređivanja poliiizocijanata organskim rastvaračima ili mešanjem komponenti velikom brzinom. Nedostatak ovakvog pristupa su povećano učešće organskih rastvarača i potreba za specifičnom opremom za mešanje.

- U drugom pristupu predlaže se korišćenje poliiizocijanata, koji je funkcionalizovan, da bi se sam mogao dispergovati u vodi. Ovo se može postići, uvođenjem hidrofilnih bočnih grupa, u sastav poliiizocijanata [9]; prikazano na strukturi hidrofilno modifikovanog HDI-izocijanurata, slika 1.



Slika 1 - Struktura hidrofilno modifikovanog HDI izocijanurata

Poliiizocijanatati dobijeni ovim postupkom lako se disperguju i nisu potrebni dodatni naponi, koji su prêthodno opisani. Nedostaci ovom pristupu mogu da budu:

slabija postojanost prema vodi i manja tvrdoća prevlake (suvog filma). Ovo je posledica povećane hidrofilnosti i smanjene funkcionalnosti izocijanatnih grupa [10]. Da bi se prevazišli ovi problemi razvijena je nova generacija hidrofilno modifikovanih poliiizocijanata, koju karakteriše smanjeni sadržaj hidrofilnih grupa i povećana funkcionalnost izocijanatnih grupa. Korišćenjem nove generacije poliiizocijanata [11] u vodorazredivim dvokomponentnim formulacijama poliuretanskih pokrivnih premaza, povećava se gustina umrežavanja u prevlakama i postojanost u vodi.

Kao reakcioni partneri u dvokomponentnim poliuretanima, koriste se polifunkcionalne komponente, najvećim delom tipa poliakrilata i poliestra. Kod vodorazredivih dvokomponentnih poliuretana, reakcioni partneri su polioli disperzionog tipa ili polioli emulzionog tipa. Polioli disperzionog tipa, često se pripremaju višestepenom sintezom, koja uključuje polimerizaciju u organskim rastvaračima ili u masi, posle toga sledi neutralizacija i prenos poliola u vodu, a u nekim slučajevima i otklanjanje organskih rastvarača. Niska molekularna masa i visok sadržaj hidrofilnih grupa (hidroksilne, karboksilne ili druge stabilizirajuće grupe), omogućuju dovoljnu mešljivost ove disperzije u vodi. Kao rezultat, polioli disperzionog tipa su u obliku koloidne disperzije, manjih veličina čestica. Polioli emulzionog tipa, pripremaju se polimerizacijom u emulziji, a čestice su im nešto veće. Polioli disperzionog tipa mogu se umrežavati i konvencionalnim poliiizocijanatima. Polioli emulzionog tipa su obično prilagođeni korišćenju poliiizocijanata, koji su dispergovani u vodi, a velikom molekularnom masom omogućeno je veoma brzo sušenje na sobnoj temperaturi [12]. Polioli disperzionog tipa u vodorazredivim dvokomponentnim poliuretanskim premazima, formiraju prevlake postojane prema vodi, organskim rastvaračima i vremenskim uslovima, ali sa nešto sporijim sušenjem.

### 1.2. Teorijske osnove mehanizma formiranja filma

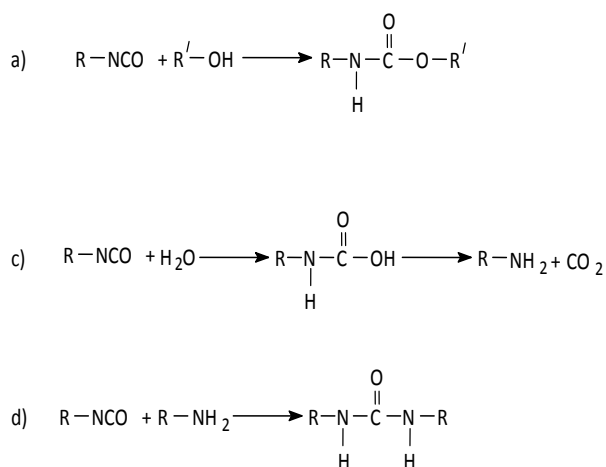
Nastajanje filma, umrežavanjem vodorazredivih dvokomponentnih poliuretana je neuobičajeno složen proces i sastoji se od dinamičke serije događaja, koji su međusobno povezani. Pri spajanju komponenti dvokomponentnih premaza, kinetika reakcije je veoma brza, reaktanti se moraju mešati neposredno pre primene, inače bi došlo do prevremenog geliranja. Vreme geliranja zavisi od specifičnosti reaktanata, katalizatora i temperature.

Kod dvokomponentnih poliuretanskih premaza sa organskim rastvaračima, kraj pot-life-a se obično pokazuje značajnim povećanjem viskoziteta. Ovde je viskozitet jednostavna funkcija molekularne mase, a povećanje viskoziteta direktno oslikava meru u kojoj je reakcija uznapredovala.

Pot-life vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih premaza je složena pojava. Značajan je veliki broj promenljivih, uključujući brzinu reakcije poliiizocijanata sa poliolum i vodom, relativne koncentracije

reaktanata i koloidno stanje sistema. Zbog heterogene prirode ovog sistema, povećanje molekulske mase, usled reakcije poliola i poliizocijanata u polimerskoj fazi, ne mora da dovede do vidljive promene viskoziteta u kontinualnoj vodenoj fazi. Tako, mera viskoziteta ne može biti dovoljna da se tačno proceni pot-life. Međutim, dinamički porast viskoziteta, koji ovde biva praćen obilnom penom, zbog razvoja ugljendioksida, postavlja gornju granicu pot-life-a.

Premaz se mora primeniti pre nego što dođe do opsežnije reakcije stvrdnjavanja. Za uspostavljanje hemijske karakteristike filma i razvoja mehaničkog integriteta tokom stvrdnjavanja, moguće su sledeće reakcije izocijanata sa hidroksilnim grupama poliola i vode [13].



Slika 2 - Reakcije između izocijanatnih grupa i jedinjenja sa aktivnim vodonikom

Prikazanim reakcijama slika 2, izocijanata sa hidroksilnim grupama poliola, formira se film uz stvaranje uretanskih veza unakrsnim povezivanjem a). U vodorazredivim dvokomponentnim poliuretanim, pored stvaranja uretanske veze unakrsnim povezivanjem, reakcijama izocijanatne grupe sa vodom, formira se polikarbamidna kiselina, koja se raspada na poliamin i ugljendioksid c).

Poliamin reaguje sa drugom izocijanantnom grupom, što dovodi do stvaranja poliuree d).

U dvokomponentnim poliuretanim sa organskim rastvaračima, ključni problem vezan za ovaj mehanizam, je relativna brzina isparavanja rastvarača, u odnosu na brzinu reakcije umrežavanja. Brza reakcija umrežavanja i održena povećana molekulska masa, mogu da izazovu jedan broj potencijalnih problema. Rastvarači mogu da budu zarobljeni i da formiraju mehuriće unutar filma. Uz to, ukoliko se molekulska masa isuviše brzo povećava, tokom ranijih stadijuma umrežavanja, difuzija reaktivnih grupa može biti ometana. To sprečava kompletnu reakciju i ostavlja niže molekulske mase u filmu. Brza reakcija uslovljava nepokretnost čitavog sistema. Ovaj efekat dovodi do unutrašnjih stresova i do formiranja potencijalnih defekata. S druge strane, spore reakcije

usporavaju sušenje i mogu da izazovu razvoj osobina, koje nisu poželjne.

Na osnovu raspoloživih modela, nastajanje filma u vodorazredivim dvokomponentnim poliuretanim, odvija se isparavanjem vode uz istovremenu koalescenciju čestica polimera i reakciju između poliola i poliizocijanata [14]. Ovaj proces se komplikuje kompetitivnim reakcijama poliizocijanata sa hidroksilnim grupama iz vode. Dok prvom reakcijom nastaju željeni poliuretani, drugom se formira poliurea i ugljendioksid. Ugljendioksid mora da se eliminiše iz premaza, pre završetka formiranja filma, kako bi se izbegli defekti u masi ili na površini nastalog filma. Neki istraživači su izneli ograničene dokaze u redosledu i obimu događaja, koji se odvijaju tokom nastajanja filma u vodorazredivim dvokomponentnim poliuretanim [15].

Mešanje disperzija poliizocijanata i poliola, pre primene, iniciraće reakcije izocijanat-hidroksilna grupa i izocijana-voda. Ukoliko u ovom momentu dođe do koalescencije poliizocijanata i hidroksifunkcionalnih čestica, to će olakšati željenu reakciju izocijanat-hidroksilna grupa. Ovaj efekat se dodatno pojačava, ukoliko polioliol enkapsulira poliizocijanat. Hare [16] je naveo, da do ove enkapsulacije dolazi i da reakcija započinje u hidrofilnim centrima, na interfejsu poliizocijana-polioliol. Reakcija poliizocijanata sa hidroksilnim grupama poliola je brža od reakcije sa vodom. Međutim, određena reakcija sa vodom je neizbežna. Da bi se obezbedila kompletna reakcija hidrolize, postalo je uobičajeno korišćenje viška poliizocijanata u odnosu NCO/OH od 1,5.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

### 2.1 Materijali i premazi

Za formulisanje komponentnog sastava, vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih premaza, sa maskirnim svojstvima, izvršeno je istraživanje i analiza, evropskih proizvođača veziva za vodorazredive poliuretane, kao i pigmentata sa zadovoljavajućom IC refleksijom, u cilju obezbeđivanja maskirnih svojstava premaza. Nakon toga izabrani su najvažniji sirovinski materijali, koji bi bili prihvatljivi za komponentni sastav naznačenih proizvoda.

U toku ispitivanja, više puta je modifikovan sastav i tehnološki postupak, kako bi se ostvarile optimalne performanse istraživanih proizvoda. Materijali, koji su korišćeni u ovom istraživanju, predstavljaju reprezentativne uzorke postojećih proizvoda, poznatih proizvođača veziva, pigmentata i ostalog za industriju boja i lakova. U formulacijama premaza za vodorazredivo dvokomponentno poliuretansko vezivo, odabrana je OH-funkcionalna poliakrilna disperzija sa umreživačem od mešavine niskoviskoznog i hidrofilnog alifatičnog poliizocijanata, na bazi HDI-heksametilendiizocijanata.

IR-spektroskopijom [17], snimljeni su FT-IR spektri OH-funkcionalne poliakrilne disperzije i umreživača, metodom nanošenja tankog filma na nosač KBr pločice,

a FT-IR spektri umreženog vodorazredivog poliuretanskog veziva KBr tehnikom (formiranje pastila od 1mg uzorka i 150 mg KBr). Snimanja su vršena na spektrofotometru BOMEN Hartman&Braun MB-100 series u oblasti talasnih brojeva  $4000-400\text{cm}^{-1}$  na Tehnološkom fakultetu u Leskovcu, Univerzitet Niš.

Analizom FT-IR spektra OH-funkcionalne poliakrilne disperzije, identifikovana je OH-grupa prisustvom trake na  $3600-3000\text{cm}^{-1}$ , koja potiče od valencionih vibracija iste. Potvrda prisustva OH-grupe je traka na  $800-650\text{cm}^{-1}$  od deformacionih vibracija van ravni.

U FT-IR spektru umreživača, karakteristična je intenzivna traka na  $2275-2250\text{cm}^{-1}$ , kojom se identifikuju valencione vibracije NCO-grupe. Prisustvo trake u oblasti  $3700-3300\text{cm}^{-1}$  potiče od valencionih vibracija NH-veza sa različitim položajem u makromolekulu. Identifikovana je i pojava deformacionih vibracija van ravni NH-veza u oblasti  $800-500\text{cm}^{-1}$ .

Za snimanje FT-IR spektra umreženog vodorazredivog poliuretanskog veziva, komponente su spojene

u odnosu racionalnog umrežavanja NCO/OH, nanošene na staklene pločice i posle deset dana sušenja i otvrdnjavanja, izvršeno je snimanje formiranog filma umreženog veziva.

Analizom FT-IR spektra formiranog filma uočen je nestanak trake na  $2271\text{cm}^{-1}$ , karakteristične za prisustvo NCO-grupe, kao i pojava novih traka, koje potiču od formiranja uretanske veze na  $1730,5\text{cm}^{-1}$  i urea veze na  $1527,9\text{cm}^{-1}$ . Ovim je izvršena kvalitativna analiza umrežavanja odabranog vodorazredivog poliuretanskog veziva za prihvatljivu primenu.

Izbor maskirnih pigmentata određen je na osnovu propisanih vrednosti spektralne refleksije za svaki ton sa gornjom i donjom graničnom linijom u dijagramu na čijoj je apscisi naneta talasna dužina izražena u nanometrima (nm), a na ordinati refleksija izražena u procentima (%).

U tu svrhu korišćeni su podaci iz tehničkih informacija proizvođača i eksperimentalna merenja IC refleksije u Vojnotehničkom Institutu Beograd.

Tabela 1 - Numeričke vrednosti IC refleksije maskirnih pigmentata [18-21]

Talasna dužina (nm)	650	670	700	750	800	850	900	950	1000
Refleksija (%) za zeleni pigment	7,3	7,5	11,9	34,8	38,3	39,2	39,6	39,2	38,6
Refleksija (%) za crni pigment	7,4	7,4	7,6	8,7	9,9	11,6	13,2	14,3	15,0
Refleksija (%) za žuti pigment	68,0	67,6	65,0	70,4	80,2	85,0	84,9	88,0	87,0
Refleksija (%) za crveni pigment	40,0	42,0	60,1	62,3	58,0	58,5	60,0	70,2	78,0
Refleksija (%) za braon pigment	14,0	14,5	20,1	23,4	30,0	45,5	50,6	55,7	62,0
Refleksija (%) za plavi pigment	20,0	40,5	80,0	82,0	82,5	82,5	80,0	81,6	80,0

S obzirom da je broj organskih i neorganskih pigmentata, sa kojima se može ostvariti odgovarajuća spektralno-refleksiona kriva ograničen, to je u izradi vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih premaza primenjen postupak miksiranja u cilju ostvarivanja željenog tona i odgovarajuće krive spektralne refleksije.

U komponentnom sastavu vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih premaza, značajno je i učešće pomoćnih sredstava [22]. Površinski aktivnim sredstvima za dispergovanje i kvašenje otklonjene su energetske barijere u glavnom sirovinskom sastavu, a time je postignuta optimalna raspodela čestica i stabilizacija premaza. Upotrebom pomoćnih sredstava protiv taloženja ostvarena je stabilizacija u lagerovanju. Pomoćnim sredstvima je omogućena brža deaeracija, a tiksotropija

premaza, važna za primenu, podešena je reološkim aditivima.

Na osnovu rezultata eksperimentalnog istraživanja, kroz modifikaciju sastava i tehnoloških faza rada, postavljena su nova rešenja premaznih sredstava sa osobinama koje su unapred programirane, prema zahtevima u zaštiti naoružanja i vojne opreme. Za dalja eksperimentalna ispitivanja po novorazvijenim formulacijama i tehnološkom postupku urađeni su premazi sa sledećim karakteristikama:

*Vodorazrediva dvokomponentna poliuretanska pokrivna maskirna boja-zeleno svetla-ton br.1*

VOC	82 (g/L)
Sadržaj suve materije težinski (A+B)	56,5 (%)
Gustina (A+B) na 20°C	1,33 (g/cm <sup>3</sup> )

Odnos spajanja komponentni	A:B=7:1
Racionalno umrežavanje NCO/OH	1,4
Vreme upotrebe spojenih komponenti	2 h.
Teoretska izdašnost	6,2 (m <sup>2</sup> /kg)

*Vodorazrediva dvokomponentna poliuretanska pokrivna maskirna boja-braon-ton br.6*

VOC	87 (g/L)
Sadržaj suve materije težinski (A+B)	57,6 (%)
Gustina (A+B) na 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	1,35

Odnos spajanja komponentni	A:B=7:1
Racionalno umrežavanje NCO/OH	1,3
Vreme upotrebe spojenih komponentni	2 h.
Teoretska izdašnost	6,5 (m <sup>2</sup> /kg)

*Vodorazrediva dvokomponentna poliuretanska pokrivna maskirna boja-crna-ton br.10*

VOC	85 (g/L)
Sadržaj suve materije težinski (A+B)	55 (%)
Gustina(A+B) na 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	1,32

Odnos spajanja komponentni	A:B=7:1
Racionalno umrežavanje NCO/OH	1,3
Vreme upotrebe spojenih komponenti	2 h.
Teoretska izdašnost	6,7 (m <sup>2</sup> /kg)

## 2.2. Ispitivanje kvaliteta po standardima odbrane

Uzorci vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih maskirnih boja u tri tona (zelena-svetla-ton br.1, braon-ton br.6 i crna-ton br.10), razvijeni po novoj tehnologiji, izrađeni su u laboratoriji fabrike Pomoravlje ad Niš, a ispitivanja su izvršena u Vojnotehničkom institutu, Sektoru za materijale i zaštitu, prema zahtevima SORS 1564/03 i SORS 8655/11, kojima je definisan kvalitet, Dvokomponentnih poliuretanskih maskirnih boja, na bazi organskih rastvarača za primenu u sistemima antikorozione i maskirne zaštite. Pored standardnih ispitivanja, prema zahtevima navedenih SORS, izvršena su i preliminarna ispitivanja uzoraka boja u sistemima sa Vodorazredivom dvokomponentnom epoksi osnovnom bojom ( koja je isto tako bila predmet razvoja po novoj tehnologiji ), kao i u sistemima sa bojama na bazi organskih rastvarača (Dvokomponentnom osnovnom epoksi bojom po SORS 1549 i Dvokomponentnom poliuretanskom maskirnom bojom po SORS 1564). Cilj ispitivanja kombinovanih sistema na bazi novorazvijenih vodorazredivih boja i boja sa organskim rastvaračima, bio je da se oceni kvalitet takvih sistema i mogućnost njihove primene u proizvodnji, a posebno u održavanju naoružanja i vojne opreme (na primer za parcijalno ili celokupno obna-

vljanje već postojeće antikorozione i maskirne zaštite bazirane isključivo na bojama sa organskim rastvaračima).

**Priprema uzoraka** za laboratorijsko ispitivanje Vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih maskirnih boja urađena je u skladu sa zahtevima SORS 1634/03.

Kao podloga za izradu uzoraka korišćene su ploče dimenzije 150 mm x70 mm x 0,7-1 mm na bazi čelika Č0147, kvalitet prema SRPS CB3.521. Priprema površina podloga izvedena je brušenjem, brusnim papirom P240 do stepena St3 i odmašćena medicinskim benzinom.

Uzorci boja, pripremljeni su sjedinjavanjem komponenti u odnosu A:B= 70:10 i homogenizovani mešanjem, bez razređivanja vodom. Isti su nanešeni na podloge 15 minuta posle sjedinjavanja komponentni, raspršivanjem pomoću komprimovanog vazduha u uslovima okoline T = 18-23°C i RV = 50-75%. Ostvarene su debljine prevlaka 50-60 μm.

Izrađeni su sledeći uzori za laboratorijsko ispitivanje:

\*Prevlake boje u maskirnom tonu br.1-zelena-svetla (uzorci oznake 1)

\*Prevlake boje u maskirnom tonu br.6-braon (uzorci oznake 6)

\*Prevlake boje u maskirnom tonu br.10-crna (uzorci oznake 10)

\*Tri tipa zaštitnih sistema sa prevlakama sledećih boja:

**Sistem I-** na bazi vodorazredivih boja

Vodorazrediva dvokomponentna epoksi osnovna boja

Vodorazrediva dvokomponentna poliuretanska pokrivna maskirna boja

**Sistem II-** na bazi kombinovanih boja

Dvokomponentna epoksi osnovna boja SORS 1549 na bazi organskih rastvarača

Vodorazrediva dvokomponentna poliuretanska pokrivna maskirna boja

**Sistem III-** na bazi kombinovanih boja

Vodorazrediva dvokomponentna epoksi osnovna boja

Dvokomponentna poliuretanska maskirna boja SORS 1564 na bazi organskih rastvarača

Ispitivanje svih uzoraka vršeno je 7(sedam) dana nakon njihove izrade.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Uzorci prevlaka boja, u sva tri maskirna tona: zelena-svetla-ton br.1, braon-ton br.6 i crna-ton br.10 (uzorci oznake 1,6 i 10), ispitivani su i ocenjeni prema zahtevima SORS 1564/03 i SORS 8655/11. Rezultati ispitivanja prikazani su u tabelama 2 i 3 i na slikama 3,4 i 5.

Tabela 2 - Rezultati ispitivanja po SORS 1564/03 uzoraka prevlaka vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih boja maskirnih tonova br.1, br.6 i br.10

Ispitivana karakteristika	Met. ispit. SORS 1634	Zahtev po SORS 1564	Rezultati ispitivanja uzoraka oznake		
			1	6	10
Stanje u posudi	M 1	homogena suspenzija	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Osobine pri razređivanju i nanošenju	M 2, M 8	premaz ujednačene debljine bez nedostataka	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Vreme upotrebljivosti, h	-	<b>ne zahteva se</b>	oko 2		
Vreme sušenja, h potpuno suv	M 9	najviše 24	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Debljina $\mu\text{m}$	M 11	50-55	60	50-55	60
Pokrivna moć, $\mu\text{m}$	M 12	30 do 40	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Prianjanje i zarez	M 14	GT 0	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Tvrdoća, s	M 20	najmanje 80	58	48	54
Otpornost na udar	M 17	najmanje 4500	> 6000	> 6000	> 6000
Otpornost na abraziju, L/ $\mu\text{m}$	M 22	0,1	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Elastičnost, mm	M 23	najmanje 6	> 6,7	> 6,7	> 6,7
Savitljivost, $\varnothing$ mm	M 24	6	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema svetlosti	M 32	bez promene izgleda; boja u granicama tolerancije	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost na temperaturne uticaje	M 26	bez promene izgleda; tvrdoća u granicama tolerancije	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema vodi posle 168 sati izlaganja	M 25	bez promene izgleda, boje, sjaja; tvrdoća u granicama tolerancije	zadovoljava*	zadovoljava*	zadovoljava*
Postojanost prema mineralnom ulju	M 25	bez promene izgleda, boje; sjaj i tvrdoća u granicama tolerancije	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost na teč. gor. izooktan/benzen	M 25	bez promene izgleda, boje; sjaj i tvrdoća u granicama tolerancije	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava

\* uzorci su zadovoljili u potpunosti zahteve kvaliteta posle 72 sata izlaganja; posle 168 sati izlaganja na pojedinim uzorcima uočena je pojava u vidu sitnih mehura, koji su nestali posle 24 sata sušenja uzoraka u laboratorijskim uslovima.

Tabela 3 - Rezultati ispitivanja maskirnih karakteristika uzoraka prevlaka vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih boja maskirnih tonova br.1, br.6 i br.10

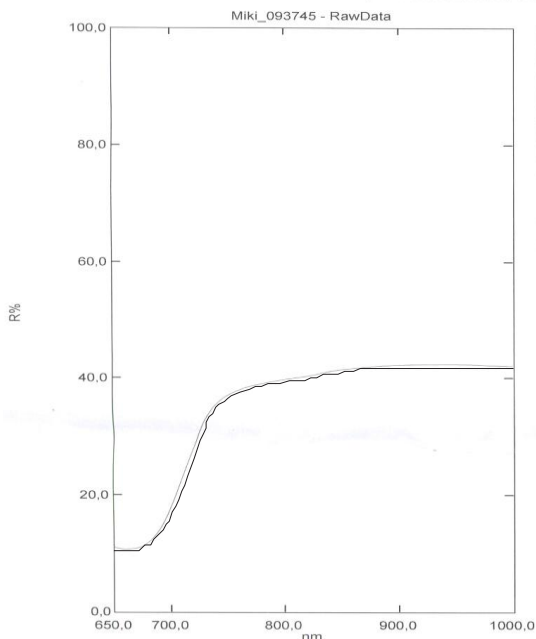
Karakteristika	Zahtev po SORS 8655	Rezultati ispitivanja uzoraka oznake		
		1	6	10
Nijansa	vizuelna podudarnost sa odgovarajućom merom maskirne boje-tona po SORS 8655	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Sjaj	$\leq 5$ za tonove po SNO 8655	3	2	5
IC refleksija (650-1000 nm)	vrednosti prema dijagramu refleksije po SORS 7511	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava

### Izveštaj o ispitivanju refleksije

Uzorak: maskirna boja, ton br.1

Sredstvo:

Materijal: Vodorazrediva boja



Podaci o zahtevima (standardi): SORS 7511

Ispunjenje maskirnih zahteva:

Slika 3 - Dijagram IC refleksije prevlake vodorazredivdvokomponentne poliuretanske pokrivne boje maskirnog tona br. 1

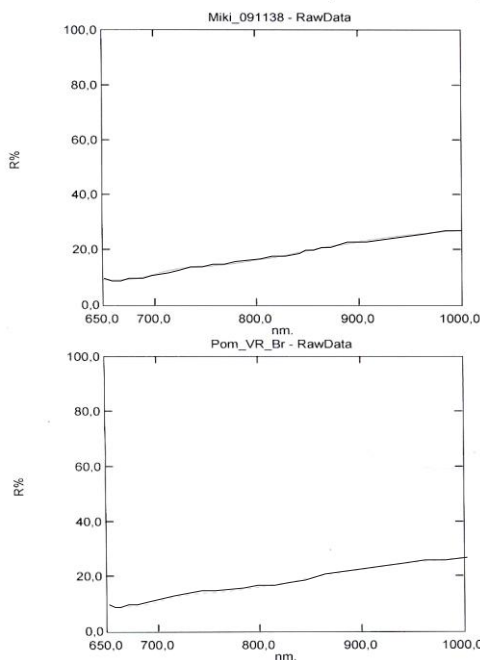
### Izveštaj o ispitivanju refleksije

Uzorak: maskirna boja, ton br.6

Sredstvo:

- 1.- 43 mikrona.  
- 2.-46 mikrona

Materijal: Vodorazrediva boja

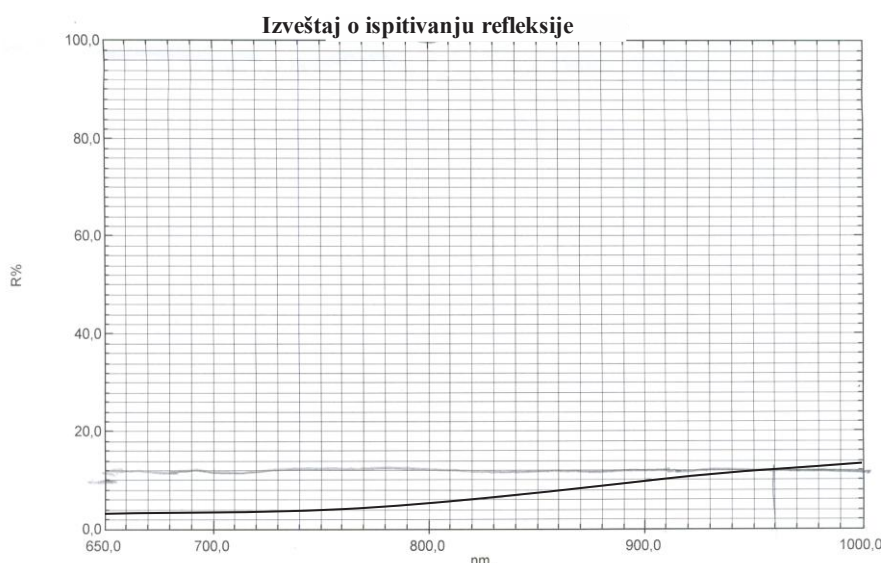


Wavelength nm.	RawData ...	RawData ...
650,0	9,1	8,9
660,0	9,0	8,7
670,0	9,1	8,8
680,0	9,4	9,1
690,0	10,1	9,8
700,0	11,0	10,8
710,0	11,9	11,8
720,0	12,8	12,7
730,0	13,3	13,3
740,0	13,7	13,6
750,0	13,9	13,9
760,0	14,2	14,1
770,0	14,6	14,5
780,0	15,1	14,9
790,0	15,6	15,4
800,0	16,2	16,0
810,0	16,7	16,5
820,0	17,3	17,0
830,0	17,9	17,6
840,0	18,7	18,5
850,0	19,5	19,2
860,0	20,2	19,9
870,0	20,9	20,6
880,0	21,6	21,2
890,0	22,1	21,8
900,0	22,7	22,4
910,0	23,3	22,9
920,0	23,8	23,4
930,0	24,3	23,9
940,0	24,8	24,4
950,0	25,2	24,8
960,0	25,6	25,2
970,0	26,0	25,6
980,0	26,3	25,9
990,0	26,6	26,2
1000,0	26,9	26,5

Podaci o zahtevima (standardi): SORS 7511

Ispunjenje maskirnih zahteva:

Slika 4 - Dijagram IC refleksije prevlake vodorazredive dvokomponentne poliuretanske pokrivne boje maskirnog tona br.6



*Slika 5 - Dijagram IC refleksije prevlake vodorazredive dvokomponentne poliuretanske pokrívne boje maskirnog tona br.10*

*Tabela 4- Rezultati ispitivanja zaštitnih sistema prevlaka na bazi samo vodorazredivih boja (uzorak I) i sistema na bazi kombinacije prevlaka vodorazredivih i boja sa organskim rasvaračima ( uzorak II i III)*

Ispitivana karakteristika	Met. ispit. SORS 1634	Zahtev	Rezultati ispitivanja zaštitnih sistema oznake		
			sistem I	sistem II	sistem III
Kompatibilnost osnovnog i pokrívnog premaza	-	bez raslojavanja i površinskih nedostataka	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Izgled prevlake	M 13	bez površinskih nedostataka	zadovoljava	zadovoljava	
Debljina prevlaka sistema $\mu\text{m}$	M 11	do 140	110-130	110-120	110-120
Prianjanje ("rešetka" 2 mm)	M 14	GT 0	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Elastičnost, mm	M 23	5	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Savitljivost, $\varnothing$ mm	M 24	6	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Otpornost na udar, br. kugl.	M 20	4500	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema vodi	M 25	bez promene izgleda, prianjanja posle 168 h	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema mešavini izooktan/benzen	M 25	bez promene izgleda, prianjanja posle 24 h	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema dizel gorivu	M 25	bez promene izgleda, prianjanja posle 24 h	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema motornom ulju	M 25	bez promene izgleda, prianjanja posle 96 h, $t=100^{\circ}\text{C}$	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema dekontaminantima, 2 % i 10 % $\text{Ca}(\text{OCl})_2$	M 25	bez promene izgleda, prianjanja posle 24 h	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost prema neorganskim elektrolitima, (10 % $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 2 % $\text{NaOH}$ , 5 % $\text{NaCO}_3$ )	M 25	bez promene izgleda, prianjanja posle 24 h	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost u vlažnoj atmosferi, $\text{RVv } 100\%$ , $t=(38\pm 2)^{\circ}\text{C}$	M 27	bez promene izgleda, prianjanja, posle 168 h	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Postojanost u slanoj magli 5 % $\text{NaCl}$ , $t=(35)^{\circ}\text{C}$	M 28	bez promene izgleda, prianjanja, posle 168 h	zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava



Uzorci tri zaštitna sistema: Sistem I- na bazi vodorazredivih boja, Sistem II i Sistem III- na bazi kombinovanih boja, ispitivani su i ocenjeni prema kriterijumima, koji se primenjuju u osvajanju i razvoju novih kvaliteta zaštitnih sistema za antikorozijsku i maskirnu zaštitu naoružanja i vojne opreme.

Rezultati ispitivanja zaštitnih sistema prikazani su u tabeli 4.

Pri nanošenju vodorazredivih boja, postupkom raspršivanja, nisu uočene razlike u odnosu na boje sa organskim rastvaračima. Rezultati izmerenih debljina prevlaka pokazuju da je ostvarena visoka nadgradnja filma, nanošenjem samo u jednom sloju. Vizuelno je konstatovana kompaktnost filma i homogena jednolična mat površina, izmerene vrednosti sjaja do 5%.

Rezultati IC refleksija prevlaka vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih boja, maskirnih tonova br.1, br.6 i br.10 pokazuju da su ostvarene zadovoljavajuće krive spektralnih refleksija, a time je zadovoljen osnovni uslov u pogledu maskirnosti. Ostvarena je visoka pokrivna moć, već sa debljinom prevlake od oko 30  $\mu\text{m}$ , što povećava ekonomičnost i snižava cenu koštanja materijala. Vrednosti, koje su dobijene merenjem mehaničkih osobina prevlaka ispitivanih Vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih boja ne zaostaju za vrednostima mehaničkih osobina prevlaka Dvokomponentnih poliuretanskih boja na bazi organskih rastvarača, iako je sušenje i otvrdnjavanje i kod jednih i kod drugih na sobnoj temperaturi, a ne na povišenoj, što ima prednosti u uštedi energije. Rezultati pokazuju da su prevlake vodorazredivih boja postojane na uticaj tečnih goriva, mineralnog ulja, vode, povišene temperature i svetlosti uz zadržavanje boje i sjaja.

Na probnim uzorcima sa zaštitnim sistemima: Sistem I- na bazi vodorazredivih boja i kombinovanim Sistemima II i III-na bazi vodorazredivih i boja sa organskim rastvaračima, ostvarena je dobra kompatibilnost između osnovne i pokrivne prevlake. Ova ispitivanja su potvrdila mogućnost primene Vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih maskirnih boja i preko postojeće antikorozijske zaštite sa bojama na bazi organskih rastvarača. Kod merenja debljina prevlaka Sistema I, II i III, konstatovane su ujednačene vrednosti, što ukazuje da se pri primeni, u reološkom pogledu, vodorazredive boje i boje na bazi organskih rastvarača podjednako ponašaju.

Rezultati uporednih ispitivanja zaštitnih sistema, ukazuju da su u sistemima sa vodorazredivim bojama ostvarene dugotrajne performanse (adhezija, mehanička zaštita i hemijska postojanost), neophodne za primenu ovih sistema u teškim uslovima eksploatacije.

#### 4. ZAKLJUČAK

Ispitivani uzorci Vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih maskirnih boja, zelena svetlato-br.1, braon-ton br.6 i crna-ton br.10 (izrađeni u laboratorijskim uslovima), zadovoljili su zahteve kva-

liteta pokrivne boje po SORS 1564/03 i SORS 8655/11, namenjene za antikorozijsku i maskirnu zaštitu naoružanja i vojne opreme.

Rezultati ispitivanja probnih uzoraka tri tipa zaštitnih sistema, na bazi uzoraka ispitivanih vodorazredivih boja, pokazuju da ispitivani sistemi poseduju zadovoljavajući nivo kvaliteta fizičko-mehaničkih karakteristika, hemijske postojanosti i zaštitne sposobnosti u primenjenim uslovima ispitivanja. Rezultati dobijeni kod probnih uzoraka, kombinovanih zaštitnih sistema ukazuju na dobru kompatibilnost ispitivanih vodorazredivih maskirnih boja i boja na bazi organskih rastvarača, što ukazuje na mogućnost njihove šire primene u proizvodnji i održavanju naoružanja i vojne opreme.

Dobijeni rezultati bili bi polazna osnova za potvrdu reproduktivnosti i standardnosti kvaliteta Vodorazredivih dvokomponentnih poliuretanskih pokrivnih maskirnih boja u industrijskoj proizvodnji za realne uslove primene na sredstvima naoružanja i vojne opreme.

#### LITERATURA

- [1] S. Cakić, Č.Lačnjevac, M.Rajković, Lj.Rašković, J. Stamenković: Reticulation of aqueous polyurethane systems, *Zaštita materijala*, 52 (2011), 1, 43-49.
- [2] V.Alar, I.Stojanović, I.Mihalić: Zaštita ugljeničnog čelika vodorazredivim premazima, *Zaštita materijala*, 52 (2011), 3, 201-207.
- [3] I. Sojanović, V. Alar, I. Juraga, Analiza zaštitnih svojstava premaza na vodenoj bazi na etalnim podlogama, *Zaštita materijala*, 53 (2012), 3, 195-201.
- [4] M. Jaić, Uporedna svojstva uretan-alkidnih i vodorazredivih premaza za površinsku obradu drveta u eksterijeru, *Zaštita materijala*, 53 (2012), 1, 45-51.
- [5] E.Almeide, S.Dulcinea, J.Uruchurtu: Corrosion performance of waterborne coatings for structural steel, *Progres in Organic coatings*, 37 (1999), 131-140.
- [6] H.Kittel,Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen Verlag W-A Colomb, Berlin Oberschwandorf, (1973), 534-556.
- [7] Lj.Rašković, Osnovi polimernog inženjrstva, Tehnički fakultet u Leskovcu, Univerzitet Niš,(1995),72.
- [8] C.A,Hawkins, A.C.Sheppard, T.G. Wood, Recent advance in aqueous Two-Component systems for heavy duty metal protection, *Progres in Organic Coating*, 32 (1976), 253-261.
- [9] W.Kubitza, H.Gruber, J.Probs, USA Patent 5075370, (1970).
- [10] S.Cakić, Doktorska disertacija, Selektivna kataliza izocijanat-hidroksilne reakcije Mn(III) Kompleksom sa mešovitim ligandima u dvokomponentnim poliuretanskim premazima, Tehnološki fakultet u Leskovcu, Univerzitet Niš, 2004.
- [11] Bayer Material Science AG, Coatings, Adhesives&Speialties, Leverkusen, Deutschland.
- [12] D.Fiori, Two-component water reducible polyurethane coatings, *Progres in Organic Coatings*, 32 (1997), 65-71

- [13] Grupa autora, Monografija, Korozija i zaštita materijala, Inž. društ. za koroziju Beograd. (2012), 378 str.
- [14] D.I. Fischer, Aqueous 2-Pack-PUR-Systems based on OH-funcional Dispersions and Polyisocyanates, Technical seminar II BASF AG, Ludwigschafen, (1997).
- [15] P.B. Jacobs, P.C. Yu, Two-Component Waterborne Poliuretane Coatings, Journal of Coatings, Tehnology, 65 (1993), 45.
- [16] C.H. Hare, Protective Coatings, Fundamentals of chemistry and Composition, Technology Publishing Co, Pittsburgh, PA, p.263.
- [17] S. Milosavljević, Strukturne instrumentalne metode, Hem. fakultet Bgd. (1994), 49-132.
- [18] Standard odbrane, Refleksija mask. mater. u UV, V i BIC područje EM spektra, SORS 7511/02
- [19] Standard odbrane, Opšti propisi za proveru maskirnih karakteristika SORS 8655/11
- [20] Ferro Corporation, Performance Pigments and Color, Cleveland, Ohio USA.
- [21] BASF, Performance Chemicals for Coatings, Plastics and Speciaties, Ludwigschafen, Germany.
- [22] Cognis, Technical Data Sheets, Additives Germany.

## ABSTRACT

### WATERBORN TWO-PACK URETHANE COATINGS FOR PROTECTION OF WEAPON AND MILITARY EQUIPMENT

*Waterborn two-pack urethane coatings represent innovative technology in paints and coatings industry. Since the water is replacing volatile organic solvents in production and application processes, their ecological acceptance is unquestionable. It is well known that this technology is approved as superior for corrosion protection in energetic and industrial plants as well as in automotive and aircraft industries of developed countries. With such idea, the possibility of application of this technology for protection of military equipment has been investigated. In work presented in this paper, the new component formulation was designed and technology parameters were modified in manner to confirm the predefined requests for anticorrosive and camouflage properties of waterborne two-pack urethane coatings. Coatings developed according to approved scheme of camouflage painting (light green, brown and black) were submitted to laboratory testing according to military standards SORS 1564/03 and SORS 8655/11. Besides the standardized testing of single coatings, the protective properties of complex, hybrid coatings systems, composed with both, waterborne and conventional paints, were tested.*

*Results implicate that waterborne two-pack urethane finish coatings satisfy the quality requests for finish coatings for anticorrosion and camouflage protection of military equipment. Results of protective paint systems composed of waterborne coatings show their satisfactory level of physical-mechanical properties, chemical stability and protective ability. Test results of hybrid systems, combined of, waterborne and conventional paints approve their good compatibility,*

**Key words:** *waterborn two-pack urethane, camouflage pigments, spectral reflectance refleksija*

Paper received: 10.11.2012.

Scientific paper