

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

Benjamin PODLOGAR

**RAZVOJ IN KARAKTERIZACIJA ENOSLOJNIH
PROTIKOROZIJSKIH PREMAZOV NA VODNI
OSNOVI**

Diplomsko delo

Slovenj Gradec, junij 2022

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

RAZVOJ IN KARAKTERIZACIJA ENOSLOJNIH PROTIKOROZIJSKIH PREMAZOV NA VODNI OSNOVI

Diplomsko delo

Študent:	Benjamin PODLOGAR
Študijski program:	Tehnologija polimerov
Mentorica:	pred. Maja TURIČNIK
Somentor:	asist. dr. Peter BERCE

Slovenj Gradec, junij 2022

IZJAVA

Podpisani Benjamin Podlogar izjavljam, da:

- je bilo predloženo diplomsko delo opravljeno samostojno pod mentorstvom;
- predloženo diplomsko delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe na drugi fakulteti ali univerzi;
- soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v knjižnici Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu. Na Fakulteto za tehnologijo polimerov neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve diplomskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico ponuditi diplomsko delo javnosti na svetovnem spletu preko repozitorija DiRROS.

Slovenj Gradec, _____

Podpis: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici pred. Maji Turičnik in somentorju asist. dr. Petru Bercetu za njuno strokovnost, pomoč in potrpljenje. Zahvaljujem se tudi podjetju Helios TBLUS, d. o. o., ter vsem sodelavcem v razvoju in analitiki. Na koncu pa bi se rad zahvalil moji družini, še posebej staršema in Lei za vso ljubezen in podporo.

POVZETEK

Razvoj in karakterizacija enoslojnih protikorozijskih premazov na vodni osnovi

V diplomskem delu smo primerjali referenčno vezivo in pet veziv podjetja Helios TBLUS, d. o. o., s tem, da smo za vsako izmed veziv uporabili osnovno formulacijo zaščitnega premaza in formulacijo z dodanim 2-butoksietanolom. Formuliranju je sledila priprava naših vzorcev in vse potrebne korekcije, da smo dobili primerne testne vzorce. Vzorce smo med seboj primerjali tako, da smo opravili različna testiranja za ovrednotenje vizualnih, aplikacijskih, mehanskih in korozijskih lastnosti. Testiranje je zajemalo določevanje MTTF premazov, preskus trdote z dušenjem nihanja po Königu, določevanje debeline suhega filma in sijaja, test elastičnosti, udarne žilavosti, določevanje odpornosti premazov na kamenjanje, test križnega reza in testiranje odpornosti premazov na vlažno in slano okolje. Najboljše rezultate vizualnih testiranj je dosegel premaz, narejen iz veziva V-5. Najboljše rezultate mehanskih testov so dosegli premazi, narejeni iz veziv V-X, V-1, V-2 in V-3. Najvišjo stopnjo protikorozijske zaščite v obeh verzijah formulacije pa je dosegel premaz, narejen iz referenčnega veziva V-X.

Ključne besede:

Premaz na vodni osnovi, karakterizacija, vizualne lastnosti, mehanske lastnosti, korozijske lastnosti.

SUMMARY

Development and characterization of single layer waterborne anticorrosion coating

In the bachelor work we compared the reference binder and five binders of Helios TBLUS d.o.o. by using a base formulation for the protective coating and a formulation with added 2-butoxyethanol for each of the binders. The formulation was followed by the preparation of our samples and all the necessary corrections to obtain suitable test samples. The samples were compared with each other by performing various tests to evaluate the visual, application, mechanical and corrosion properties. Testing included determination of MFFT of our coatings, hardness test with König vibration damping, determination of dry film thickness and gloss, elasticity test, impact toughness, determination of coating resistance to stone chipping, cross-cut test and testing resistance of coatings to humid and saline environments. The best results of visual testing were achieved by a coating made of V-5 binder. The best results of mechanical tests were achieved by coatings made of binders V-X, V-1, V-2 and V-3. The highest level of corrosion protection in both versions of the formulation was achieved by a coating made from the reference binder V-X.

Keywords:

Water-borne coatings, characterization, visual properties, mechanical properties, corrosion properties.

KAZALO

1 UVOD	1
1.1 Cilji diplomskega dela	1
1.2 Hipoteze in trditve	2
1.3 Predpostavljene omejitve diplomskega dela	2
2 TEORETIČNI DEL	3
2.1 Zgodovina premazov	3
2.2 Premazi na splošno	3
2.2.1 Osnovni pojmi premaznih sistemov	4
2.3 Glavne sestavine premazov	6
2.3.1 Veziva	7
2.3.2 Pigmenti in polnila	8
2.3.3 Aditivi	10
2.3.4 Topila	10
2.4 Premazi na vodni osnovi	11
3 EKSPERIMENTALNI DEL	12
3.1 Uporabljeni materiali	12
3.2 Priprava premazov	13
3.3 Nanos premazov	16
3.4 Karakterizacija in predstavitev metod testiranja	17
3.4.1 Določevanje minimalne temperature tvorbe filma naših premazov	17
3.4.2 Preskus trdote z dušenjem nihanja po Königu	18
3.4.3 Določevanje debeline suhega filma	19
3.4.4 Določevanje sijaja premazom	20
3.4.5 Test elastičnosti	21
3.4.6 Udarna žilavost	22
3.4.7 Določanje odpornosti premazov na kamenjanje	23
3.4.8 Določanje odpornosti premazov na vlago v vlažni komori	23
3.4.9 Določanje odpornosti premazov na korozijo v slani komori	24
3.4.10 Ovrednotenje rezultatov vlažne in slane komore	26
4 REZULTATI IN DISKUSIJA	29
4.1 Določevanje minimalne temperature tvorbe filma naših premazov	29
4.2 Preskus trdote z dušenjem nihanja po Königu	29
4.3 Določevanje debeline suhega filma	31
4.4 Določitev sijaja premazom	32
4.5 Mehanski testi (test elastičnosti, udarna žilavost, križni rez suhega filma in odpornost premazov na kamenjanje)	32
4.6 Rezultati vlažne komore	35
4.7 Rezultati slane komore	37
5 SKLEP	40
SEZNAM LITERATURE IN VIROV	41

SEZNAM SLIK _____	42
SEZNAM TABEL _____	43
SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV _____	44
SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC _____	45

1 UVOD

Premazi so lahko eno- ali dvokomponentni sistemi, s topili ali brez, z nizko, visoko ali zelo visoko vsebnostjo nehlapnih snovi, praškasti in na vodni osnovi. V diplomskem delu se bomo osredotočili na slednje. Premazi na vodni osnovi so alternativa klasičnim premazom iz organskih topil in tako predstavljajo pomemben del v tehnologiji premazov kot okolju bolj prijazna izbira za uporabo. Ena najbolj osnovnih in pomembnih vlog premaznih sistemov je zaščita podlage pred fizikalnimi in kemijskimi vplivi okolja, njihova funkcija pa je lahko tudi dekorativne narave ali celo bolj specifična, kot so npr. prevodni in proti zdrsnim premazi. Glavna komponenta premaza je vezivo, ki vsebuje polimerne delce in zagotavlja oprijem s podlago. Premazi vsebujejo še topila, pigmente in aditive. Pigmenti so trdi delci, ki premazom dajejo barvo in imajo posebno funkcionalnost – zaščito pred korozijo. Polnila se dodaja predvsem zato, da se zniža cena premaza in da vplivajo na mehanske lastnosti premaza. Z aditivi v premazih izboljšamo reološke lastnosti in stabilizacijo. Premaz je uporaben šele, ko je posušen ali utrjen. Velika večina polimerov, ki imajo v premazih vlogo veziva, je netopnih vodi in se v vodnih premazih nahajajo v obliki vodnih disperzij. Razvoj premazov na vodni osnovi sega v prvo polovico dvajsetega stoletja. K nadaljnjim raziskavam ni vodila samo želja po okolju prijaznih premazih, ampak tudi želja po zmanjšanju vnetljivosti, po znižanju produkcijskih stroškov in nekateri družbeno varstveni dejavniki, tj. varnost dobave [1].

V diplomskem delu smo izvedli razvoj in karakterizacijo enoslojnih protikorozijskih premazov na vodni osnovi v podjetju Helios TBLUS, d. o. o. Na podlagi referenčnega veziva je bila narejena formulacija premaza, ki je bila prenesena na veziva podjetja Helios. Formulacija je vsebovala vezivo, pigment, polnila in aditive. Pripravljeno formulacijo paste smo dispergirali do začetne homogenizacije, a za še boljše rezultate smo pripravljeno pasto še dodatno zmleli na krogličnem mlinu. Gre za pigmentno pasto, s katero poenostavimo pripravo premazov. Po mletju je sledilo dokončevanje premazov – dodatek veziva in aditivov. Sledilo je redčenje z vodo za ureditev viskoznosti in nanos na površino. Premaze smo pustili, da se sušijo in na posušenem premazu izvedli vse nadaljnje teste.

Uporabljene metode testiranja so zajemale merjenje debeline suhega filma, merjenje sijaja, merjenje trdote po Königu, testiranje stekanja, določevanje minimalne temperature tvorbe filma (MTTF), test elastičnosti, udarni test, določevanje oprijema na površino in testiranje protikorozijskih lastnosti v vlažni in slani komori. Z opravljenimi testi smo lahko določili, katero vezivo ima najboljše lastnosti glede na željeno področje uporabe.

1.1 Cilji diplomskega dela

Glavni cilj diplomskega dela je primerjati različna veziva za premaze in njihove lastnosti za nadaljnjo uporabo.

V diplomskem delu bomo primerjali ustreznost premazov z doseženimi vizualnimi, aplikacijskimi, mehanskimi in protikorozijskimi lastnostmi. Na podlagi zbranih rezultatov bomo ovrednotili, za katero vezivo je bila izbrana formulacija najbolj primerna.

Sprotni cilji dela so:

- uspešna priprava premaza za posamezno vezivo;
- primerjava in korekcija viskoznih lastnosti premazov;
- priprava vzorcev za vse metode dela;
- karakterizacija vizualnih, aplikacijskih, mehanskih in protikorozijskih lastnosti vzorcev.

1.2 Hipoteze in trditve

Predpostavljamo, da bodo rezultati pokazali razlike v aplikacijskih, dekorativnih, mehanskih in protikorozijskih lastnostih veziv in premazov iz njih, kar bi lahko zagotovilo širok spekter uporabe. Ocenjujemo, da bodo nekatera veziva bolj primerna za estetsko uporabo, nekatera pa bolj primerna za uporabo, kjer je na prvem mestu protikorozijska zaščita. Sklepamo, da bodo veziva glede na izbrano formulacijo dosegla želene rezultate v opredelitvi kategorij korozije po ISO 12944-2, kategorija C3.

1.3 Predpostavljene omejitve diplomskega dela

Pričakujemo omejitve časovnih zmožnosti spremljanja nekaterih lastnosti premazov, kot so npr. spremljanje trdote in rezultatov korozijskih testov zaradi vikendov.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Zgodovina premazov

Uporaba barv in premazov ni nova tehnologija, saj so jih ljudje že od samega začetka uporabljali za dekoracijo svojih prostorov. Starejše civilizacije so svoje izdelke že ščitile z enostavnimi premazi iz naravnih smol, oglja, voska in beljaka. V srednjem veku so uporabljali oksidativno sušeča olja. Na začetku 20. stoletja so se najprej pojavili nitrocelulozni laki, nato pa so razvili urea formaldehidne premaze. Vse do leta 1937 so bili tudi začetki akrilnih ter poliuretanskih premazov. V naslednjih desetih letih so bili razviti silikonski ter epoksidni premazi. Od leta 1947 do leta 1974 so bili na trgu praškasti, vodni, elektro-prevodni in UV (ultravijolično) utrjujoči premazi.

Največji ekološki in razvojni učinek je prinesel razvoj premazov na vodni osnovi. V preteklosti so uporabljali hlapna organska topila, z njihovim razvojem pa so zmanjšali negativni vpliv na okolje. K nadaljnjim raziskavam je vodila želja po okolju in industriji bolj prijaznih premazih. S tem se je zmanjšala nevarnost vnetljivosti, znižali so se produkcijski stroški in izboljšala se je varnost dobave. S spremembami v zakonodaji so se izboljšali pogoji za razvoj premazov na vodni osnovi [1–3].

2.2 Premazi na splošno

Izraz premaz najbolj pogosto označuje tekočo snov, ki po sušenju oziroma reakciji tvori trd film, ki ima lahko veliko funkcij. Za premaze bi lahko rekli, da gre za nekakšen kompozitni material (v primeru uporabe pigmentnih premazov), kjer je ena substanca fino porazdeljena v drugi snovi. Ena najbolj osnovnih in pomembnih funkcij je, da ščiti podlago pred fizikalnimi in kemijskimi vplivi okolja. Namen uporabe premazov je lahko tudi dekorativne narave oziroma celo bolj specifične, kot so npr. prevodni in proti zdrsnim premazi. Premazi se najbolj pogosto uporabljajo v avtomobilski industriji, za cestno signalizacijo, za barvanje plastike, embalaže, tekstila in betona [1]. Premazi se lahko delijo na več načinov:

- eno- ali dvokomponentne sisteme (2K);
- glede na vrsto uporabljenega topila (na vodni osnovi, na osnovi organskih topil, z reaktivnim topilom in brez topil);
- glede na način sušenja (kemijsko in fizikalno sušeči);
- glede na podlage, za katere se uporabljajo (za kovino, les, plastiko, tekstil ter za zunanje in notranje zidne površine);
- glede na njihove posebne lastnosti (odpornost na mehanske poškodbe in samoobnovljivost, odpornost na korozijo, samočistilnost, UV odpornost ter antibakterijske lastnosti) [2].

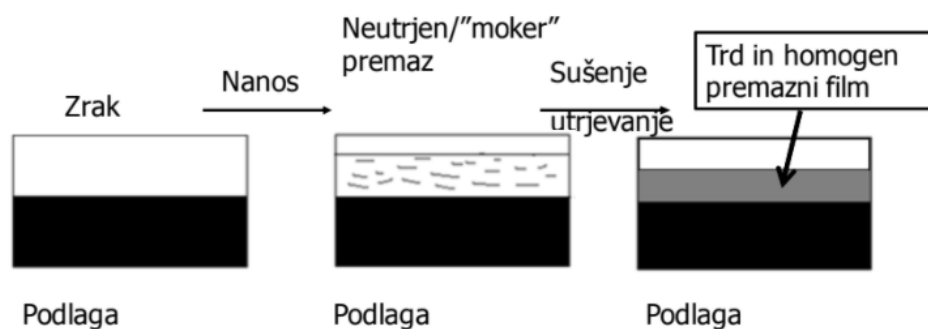
Proces priprave premazov ima štiri osnovne korake. Prvi korak je razvoj formulacije, kjer se izbere vezivo in najbolj optimalni pigmenti, polnila, topilo in aditivi. Drugi korak je proces priprave premazov, ki zajema doziranje vseh sestavin in dispergiranje. To

pomeni, da se delci razpršijo, večinoma z intenzivnim mešanjem ali z mletjem. S tem dosežemo želeno homogenizacijo našega premaza. Tretji korak je redčenje in nanašanje na želeno podlago. Načinov za nanos premazov je veliko, nekateri najbolj pogosto uporabljeni so nanos s pršenjem, s čopičem ali valjčkom. Pri nanosu lahko predmet direktno potopimo ali v premaz ali na predmet naneseemo nanos z elektroforezo. Zadnji korak je sušenje ali utrjevanje, pri čemer se premaz pokaže še kot posebej uporaben. Sušenje zajema izhlapevanje topila pri sobni temperaturi ali pri povišani temperaturi v peči. Pri utrjevanju poteka kemijska reakcija s trdilci, UV utrjevanjem ali oksidativnim sušenjem.

Na utrjenem premazu testiramo debelino suhega filma, sijaj, čas sušenja, trdoto, elastičnost, pokrivnost, brušenje, čas utrjevanja, oprijem, mehanska, kemijska, UV (ultravijolično) in temperaturno odpornost, korozijski testi v slani in vlažni atmosferi ter vrednotenje napak na površini [1].

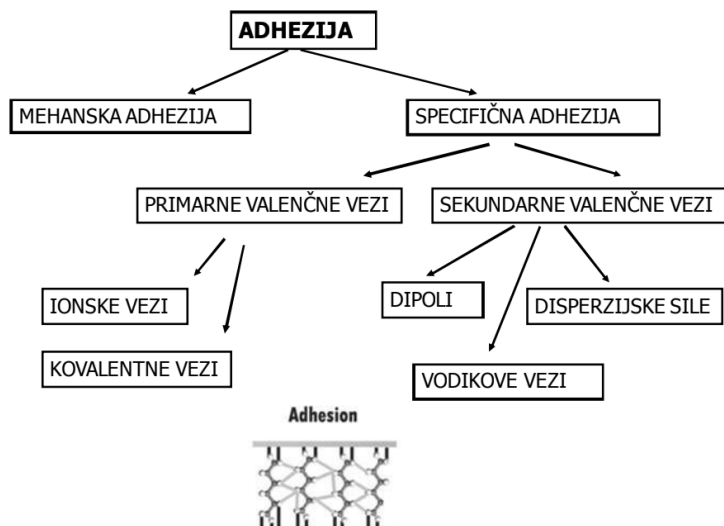
2.2.1 Osnovni pojmi premaznih sistemov

Predpogoj za kakovostno zaščito podlage s premazom je dobro omakanje površine. Omakanje površine v osnovi pomeni, da medfazno površino podlaga–zrak spremenimo v podlaga–tekoče in po sušenju/utrjevanju v trdno–trdno [1]. Na sliki 1 je predstavljen shematični prikaz omakanja in sušenja premazov.



Slika 1: Shematični prikaz omakanja in sušenja premaza [1]

Adhezijo definiramo kot delo, ki je potrebno, da ločimo enoto površine na stični površini dveh različnih materialov. Lahko jo definiramo tudi kot učinek sil privlaka med dvema različnima materialoma. Poznamo mehansko in specifično adhezijo [1]. Na sliki 2 je shematsko prikazana delitev adhezije.



Slika 2: Shematski prikaz delitve adhezije [1]

Viskoznost je fizikalna količina, ki podaja odziv tekočine na strižno deformacijo. Določena je kot razmerje med strižno napetostjo in strižno hitrostjo, kot je prikazano v enačbi 1.

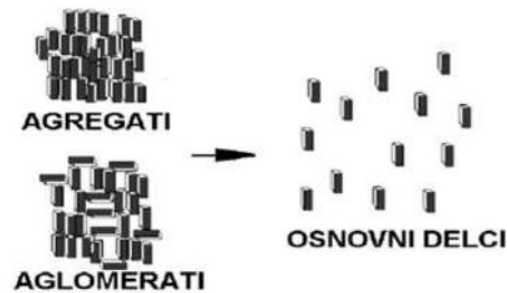
$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (1),$$

pri čemer je:

- η - viskoznost (Pa*s),
- τ - strižna napetost (Pa),
- D - strižna hitrost (1/s).

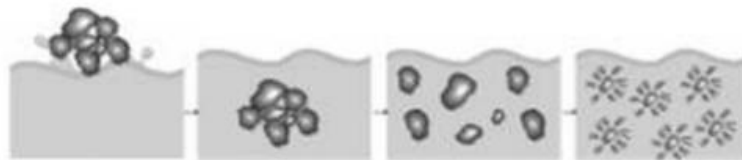
Viskoznost podaja notranje trenje tekočin. Je ena od pomembnih lastnosti premazov, saj vpliva na mešanje, kakovost nanašanja, debelino nanosa, omakanje površine in tudi na končno kakovost premaza. Viskoznost je odvisna od deleža suhe snovi, vrste pigmentov in polnil, oblike in velikosti polimernih molekul v vezivu in seveda temperature [1].

Koagulat je agregat koloidnih delcev z relativno zbito in trdno strukturo. Flokulacija je proces tvorbe agregatov z relativno šibko povezano strukturo. Mono/polidisperznost je porazdelitev velikosti delcev. Sedimentacija je pojav, kjer imajo delci višjo gostoto kot okolica, zato se posedejo na dno. Agregati so delci, ki so sprijeti po površini ploskev, medtem ko so aglomerati delci, ki so sprijeti po ogliščih in robovih [1]. Shematski prikaz agregatov, aglomeratov in osnovnih delcev je prikazan na sliki 3.



Slika 3: Shematski prikaz agregatov, aglomeratov in osnovnih delcev [1]

Dispergiranje je postopek mešanja in mletja trdnih delcev v tekočem mediju. Naloga je, da se ti enakomerno porazdelijo po vsem mediju. Dispergirani delci pigmentov, polnil in veziva imajo višjo energijo kot osnovni delci. Dispergirani delci imajo težnjo po ponovni združitvi v osnovne delce, zato brez dodatka stabilizatorjev, kot so omakala in disperzna sredstva, disperzija ni obstojna [1]. Slika 4 shematsko prikazuje omočenje, dispergiranje in stabilizacijo.



Slika 4: Shematski prikaz omočenja, dispergiranja in stabilizacije [1]

Minimalna temperatura tvorbe filma (MTTF) je tvorba filma z zlitjem primarnih delcev disperzije, ki je mogoča samo nad določeno temperaturo MTTF. Pri nižji temperaturi je polimerni film v steklastem stanju in ni kontinuiren. Običajno je MTTF malo nižji od T_g (temperatura steklastega prehoda) polimera. Dodatek topil oziroma koalescentov nam zniža MTTF. To pomeni, da se lahko film tvori pri nižjih temperaturah sušenja. Koalescenti so organska topila, ki imajo nižjo hlapnost kot voda, kar pomeni, da ostanejo v filmu dlje, s čimer vplivajo na T_g in MTTF. Korozija je proces, s katerim se kovine elektrokemično pretvorijo v kovinske okside. Te kovine se v mnogih primerih pretvorijo nazaj v minerale ali rude, iz katerih so bile rafinirane [4].

2.3 Glavne sestavine premazov

Kot smo povedali že v uvodu so v premaznih sistemih štiri glavne sestavine. To so:

- veziva;
- pigmenti in polnila;
- topila;
- aditivi.

2.3.1 Veziva

Veziva so lahko sintetični ali naravni polimeri, ki pri sušenju ali s kemijsko reakcijo tvorijo film. Veziva so glavna komponenta premaza. Njihova funkcija je povezovanje vseh sestavin premaza. Združijo vse v celoto in ščitijo površino predmeta [1].

Vezivo določa glavne lastnosti utrjenega premaza kot je estetski videz, mehanske lastnosti, odpornost na kemikalije in okolje. Naravna veziva se v premazni industriji uporabljajo zelo redko. Tam raje uporabljamo sintetična veziva, saj lahko z njimi dosežemo izredne lastnosti [2]. Na sliki 5 je prikazan primer veziva.

Najpogosteje uporabljena veziva v industriji premazov so:

- akrilna in stiren-akrilna;
- alkidna;
- epoksidna;
- poliuretanska;
- poliestrska;
- vinilna;
- melaminska;
- silikonska.



Slika 5: Primer veziva [1]

Akrilna in stiren-akrilna veziva so bila predstavljena kot nadomestilo alkidnim in nitroceluloznim vezivom zaradi njihove boljše odpornosti proti vremenskim vplivom. Akrilna veziva vsebujejo akrilne ali metilakrilne monomerne enote. Kopolimer stiren-akril vsebuje še stiren.

Akrilna veziva imajo odlično prosojnost in vzdržljivost ter se uporabljajo v široki paleti aplikacij, od potrošniških izdelkov, kot so povečevalne leče, do industrijskih izdelkov, kot so premazi in lepila. Poleg tega se akrilna veziva uporabljajo tudi pri obdelavi papirja ali vlaken, računalniških zaslonih, zaslonih za mobilne telefone in svetlobne plošče za osvetlitev zaslonov s tekočimi kristali (LCD). Zaradi odlične obstojnosti in

vremenske odpornosti se akrilne smole obsežno uporabljajo v avtomobilski, gradbeni in plastični industriji [5].

Splošne značilnosti akrilnih veziv so:

- lep videz;
- dobra odpornost na vremenske vplive;
- adhezija;
- trdota;
- toplotna in kemična odpornost;
- vodoodpornost in
- širok spekter uporabe.

Stiren-akrilna veziva nudijo odlične hidrofobne lastnosti, kar pomeni, da imajo v primerjavi s popolnoma akrilnimi polimeri vrhunsko vodoodpornost in paroprepustnost. Ta veziva so idealna za določene aplikacije, kot so premazi za gradbeno industrijo ali premazi v papirni industriji.

Druga pomembna lastnost stiren-akrilnih veziv je, da omogočajo široko izbiro temperature steklastega prehoda (T_g). So vzdržljiva, odporna proti obrabi in imajo dobre mehanske lastnosti.

Splošne značilnosti stiren-akrilnih veziv so:

- dobra odpornost proti vremenskim vplivom in dobra odpornost na madeže;
- široko natezno ali raztegljivo ravnovesje;
- sposobnost navzkrižnega povezovanja;
- visoka sposobnost vezave pigmenta;
- idealen sijaj, trdnost filma in odpornost na odstranjevanje z detergenti;
- dober oprijem na običajne podlage, vključno s pocinkanim jeklom, aluminijem in lesom.

Pomanjkljivost stiren-akrilnih polimerov je nagnjenost k rumenjenju zaradi neposredne izpostave sončni svetlobi. S povečanjem vsebnosti stirena se rumenjenje lahko tudi poveča. Kljub tem pomanjkljivostim se stiren akrilni polimeri še vedno pogosto uporabljajo kot lepila za keramične ploščice, polnila in elastomerni strešni premazi [6].

2.3.2 Pigmenti in polnila

Pigmenti so prašni delci, ki so netopni v mediju. Omogočajo prekrivanje, obarvanje površine, zaščito ter vplivajo na optične in fizikalne lastnosti premaza. Glavna delitev je na organske in anorganske.

Glavne lastnosti pigmentov so [1]:

- barva in sposobnost obarvanja;
- netopnost;

- sposobnost prekrivanja podlage;
- kemijska stabilnost;
- termična stabilnost.

Glavni predstavniki pigmentov so:

- titanov dioksid (TiO_2);
- železovi oksidi;
- saje.

V diplomskem delu smo kot pigment uporabili titanov dioksid, ki je eden najpogosteje uporabljenih pigmentov. Odlikuje ga visoka pokrivnost, belina in obstojnost. Na sliki 6 je prikazan prah titanovega dioksida.



Slika 6: Prah titanovega dioksida [1]

Glavna naloga polnil je, da spreminjajo in izboljšajo določene lastnosti premaza, da se zniža cena premaza. Sekundarne lastnosti polnil so matiranje, adhezija, brušenje. Pri polnilih je koristno, da imajo primerljiv lomni količnik z vezivom v premaznem sistemu, da se ne spreminja optične lastnosti premaza [1].

Predstavniki polnil so:

- kalcijev karbonat;
- barijev sulfat;
- kaolin;
- sljuda;
- silicijev dioksid;
- lojevec.

V diplomskem delu smo uporabili polnilo barijev sulfat, ki ga odlikuje neprozoren videz in visoka gostota ter nizka cena.

2.3.3 Aditivi

V preteklosti so za odpravo napak iz procesa izdelave premazov dodajali aditive. V današnjem času aditive v premaznih sistemih dodajajo v majhnih količinah z namenom, da olajšajo izdelavo premazov in njihovo kakovost.

Aditivi se v premaznih sistemih uporabljajo za:

- omakanje in dispergiranje;
- razbijanje pene;
- pospeševanje reakcij;
- UV zaščito;
- urejanje reologije.

Kot smo že omenili se aditivi dodajajo v majhnih količinah, saj imajo v velikih količinah negativen učinek. Najpogostejša količina je med 0,05 ut. % in 1 ut. %. [1,2].

Najbolj znani proizvajalci aditivov so:

- BYK;
- Borchers;
- BASF;
- Allnex;
- Evonik.

Omakala znižajo površinsko napetost med tekočim medijem in površino pigmenta. S tem pospešijo prodiranje tekočega medija v kanale ter v medprostor aglomeratov in agregatov. Dispergirna sredstva so dodatki, ki se adsorbirajo na površino pigmenta. Z elektrostatskim odbojem in steričnim oviranjem, preprečujejo združevanje pigmentnih delcev v skupke – preprečujejo flokulacijo. Na sliki 7 je prikazan vpliv dodanega omakala.



Slika 7: Prikaz vpliva dodanega omakala [1]

2.3.4 Topila

Topila so tekočine, v katerih je izbrano vezivo topno in mora biti pri pogojih sušenja hlapno. Njihova funkcija je raztapljanje veziva in redčenje premazov za urejanje viskoznosti. Za sistem jih izberemo glede na njihovo hlapnost in temperaturo plamenišča.

Vrste topil:

- alifatski ogljikovodiki (parafini);
- aromatski ogljikovodiki (nafta, ksilen, toluen);
- estri (butilacetat);
- ketoni (metiletilketon);
- alkoholi (butanol);
- glikoli (butilglikol).

Zaradi uvedbe zakonodaje vezane na VOC (ang. volatile organic compound) oziroma HOS (slo. hlapne organske snovi) je bilo potrebno premazne sisteme z visokim deležem nevarnih hlapnih snovi zamenjati z okolju bolj prijaznimi alternativami. Tabela 1 prikazuje vsebnost topil in suhe snovi v različnih premaznih sistemih.

Tabela 1: Vsebnost topil in suhe snovi v različnih premaznih sistemih [1]

Premazni sistem	Vsebnost HOS (%)	Vsebnost suhe snovi (%)
Nitrocelulozni laki	do 75	do 20
Srednja vsebnost suhe snovi	do 50	do 40
Visoka vsebnost suhe snovi	do 35	do 60
Zelo visoka vsebnost suhe snovi	do 15	do 80
Vodoredčljivi	< 10	do 40
Praškasti	0	100

Zaradi uvedenih zakonskih zahtev se je razvoj premazov na vodni osnovi zelo povečal [1].

2.4 Premazi na vodni osnovi

V premazih na vodni osnovi je topilo v celoti ali le delno voda. Glavna prednost teh premazov je, da zmanjšamo uporabo nevarnih organskih topil. Slabosti so visoka površinska napetost, kratek rok skladiščenja zaradi razvoja mikroorganizmov, vpliv relativne vlažnosti na sušenje, zahtevno čiščenje opreme in razmaščevanje podlage pred nanosom [1]. Da izboljšamo lastnosti, kot je kompatibilnost vode z vezivom, površinska napetost in tvorba filma, je pogosto potrebno v premaze na vodni osnovi dodati tudi znatne količine organskih topil.

Veziva na vodni osnovi se delijo glede na način priprave, in sicer na lateks in vodoredčljiva veziva. Lateksi so produkti suspenzijske in emulzijske polimerizacije, kjer sinteza poteka v vodni disperziji. Glavna razlika med obema verzijama je molekulska masa. Kompatibilnost vodoredčljivih veziv omogočajo polarne skupine na verigi polimera, organska topila, ki se mešajo z vodo (npr. glikol etri), ali dodatek površinsko aktivnih snovi. Sinteza vodoredčljivih polimerov poteka v organski raztopini, kjer velikost makromolekul direktno vpliva na viskoznost. Previsoka viskoznost prinaša težave pri prenosu toplote in snovi ter obremenitev opreme, kar je problematično tako v fazi sinteze kot tudi v fazi emulgiranja v vodo. Ker izmed obeh verzij dosežejo

vodoredčljiva veziva nižje molekulske mase, se uporabljajo v kombinaciji z različnimi dodatki, kot so trdilci in sušilci, da lahko z njimi dosežemo ustrezne mehanske lastnosti in kemijsko obstojnost [3].

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Uporabljeni materiali

Formulacijo smo uporabili na referenčnem vezivu, ki bo v nadaljevanju označeno kot V-X, in na petih različnih vezivih podjetja Helios TBLUS, d. o. o., označenih od V-1 do V-5. Zaradi zagotavljanja konkurenčne prednosti, varstva industrijske lastnine ali tajnosti podatkov podjetja bomo v diplomskem delu uporabljali indeksna imena veziv. V tabeli 2 so predstavljena uporabljena veziva.

Tabela 2: Uporabljena veziva

Vezivo	Tip veziva	Suha snov (ut.%)	MTTF (°C)	Gostota (g/cm ³)
V-X	Akrilno	47	16	1,05
V-1	Stiren-akrilno	47	18	1,00
V-2	Akrilno	40	0	1,10
V-3	Stiren-akrilno	42	30	1,00
V-4	Stiren-akrilno	40	45	1,00
V-5	Akrilno	41	32	1,10

Naša osnovna formulacija je bila razdeljena na dve fazi: priprava pigmentne paste (v nadaljevanju pasta) in dokončevanje premazov. V tabeli 3 so predstavljene uporabljene sestavine paste in dokončevanja.

Tabela 3: Uporabljene sestavine paste in dokončevanja

Pasta	Dokončevanje
Demineralizirana voda	Vezivo
Omakalo	Pasta
Antipenilec	2,2,4-trimetil-1,3-pentandiol monoizobutirat
Titanov dioksid	Reološki dodatek 1
Barijev sulfat	Reološki dodatek 2
Cinkov fosfat	Zaviralec rje
	Dimetiletanolamin (DMEA)

- Omakalo: Dodatek za omočenje in disperzijo brez HOS in topil za sisteme vodnih premazov, tiskarske barve in lepila. Proizvajalec je podjetje BYK.
- Antipenilec: Antipenilec brez silikona brez HOS za vodne emulzijske sisteme z visokim sijajem, tiskarske barve, lake za pretisk in disperzijska lepila. Proizvajalec je podjetje BYK.
- Titanov dioksid: Polnilo in pigment. Proizvajalec je podjetje Cinkarna Celje.

- Barijev sulfat: Sintetično proizvedeno polnilo iz raztopin visoke čistosti. Proizvajalec je podjetje Sachtleben.
- Cinkov fosfat: Je anorganska snov, ki se uporablja v premazih kot dodatek za korozijsko odpornost. V veliki meri je izpodrinil strupene materiale na osnovi svinca ali kroma in postal najpogosteje uporabljen zaviralec korozije.
- 2,2,4-trimetil-1,3-pentandiol monoizobutirat: Je težko hlapni koalescent za premaze. Proizvajalec je podjetje Eastman.
- Reološki dodatek 1: Sredstvo za zgoščevanje premaznih sistemov na osnovi poliuretana za urejanje viskoznosti pri srednjih-visokih strigih. Proizvajalec je podjetje Elementis.
- Reološki dodatek 2: Sredstvo za zgoščevanje za premazne sisteme na vodni osnovi za urejanje viskoznosti pri nizkih strigih. Proizvajalec je podjetje Elementis.
- Zaviralec rje: Tekoči zaviralec rje za vodne sisteme. Proizvajalec je podjetje Elementis.
- DMEA: Kemikalija, ki se v premazne sisteme dodaja za uravnavanje pH.

Da so vsi naši pripravljene premazi tvorili suhi film, smo naši osnovni formulaciji naknadno dodali še 2 % 2-butoksietanol-a, ki ima v premaznem sistemu funkcijo lahko hlapnega koalescenta. V spodnji tabeli 4 so zabeležena imena naših vzorcev in njihov opis.

Tabela 4: Seznam imen vzorcev in njihov opis

Ime vzorca	Opis
P-X	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-X
P-1	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-1
P-2	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-2
P-3	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-3
P-4	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-4
P-5	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-5
B	2 % dodatek 2-butoksietanola
P-X/B	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-X z dodanim 2 % 2-butoksietanolom (B)
P-1/B	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-1 z dodanim 2 % 2-butoksietanolom (B)
P-2/B	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-2 z dodanim 2 % 2-butoksietanolom (B)
P-3/B	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-3 z dodanim 2 % 2-butoksietanolom (B)
P-4/B	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-4 z dodanim 2 % 2-butoksietanolom (B)
P-5/B	Premaz pripravljen po osnovni formulaciji iz veziva V-5 z dodanim 2 % 2-butoksietanolom (B)

3.2 Priprava premazov

Najprej smo pripravili 1 kg paste. V 1 L plastično posodo smo zatehtali sestavine, prikazane v tabeli 5, in jih na overhead mešalu IKA EUROSTAR 40 digital, ki je prikazan na sliki 8, premešali do homogenizacije.

Tabela 5: Podatki potrebnih količin

Sestavina	Masa (g)
Demineralizirana voda	253,80
Omakalo	129,44
Antipenilec	7,61
Titanov dioksid	380,70
Barijev sulfat	152,28
Cinkov fosfat	76,14
	999,97



Slika 8: Mešalo IKA EUROSTAR 40 digital

Da smo dosegli popolno homogenizacijo, smo pasto zmleli v mlinu DISPERMAT D-51580, ki je prikazan na sliki 9. Kot mlevno telo smo uporabili keramične kroglice premera 1 mm. Mlin smo nastavili na 2500 obratov na minuto in mleli 30 minut. Po mletju smo keramične kroglice odstranili s pomočjo sita.



Slika 9: Mlin DISPERMAT D-51580

Ko smo imeli pripravljeno pasto, smo se lotili dokončevanja premazov. Končni produkt premaza smo pripravili v 300 mL plastičnih lončkih, ki smo jih homogenizirali z mešalom IKA EUROSTAR 40 digital. Pred nanosom smo premaze pustili na sobni temperaturi 48 ur, da smo se izognili penjenju. V tabeli 6 je zabeležena utežna sestava faze dokončevanja.

Tabela 6: Utežna sestava faze dokončevanja osnovne formulacije

Sestavina	Količina sestavin za posamezne premaze v odstotkih (ut. %)					
	P-X	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
V-X	58,68	/	/	/	/	/
V-1	/	58,68	/	/	/	/
V-2	/	/	68,95	/	/	/
V-3	/	/	/	65,67	/	/
V-4	/	/	/	/	68,95	/
V-5	/	/	/	/	/	67,27
Pasta	39,40	39,40	29,13	32,41	29,13	30,81
2,2,4-trimetil-1,3-pentandiol monoizobutirat	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Reološki dodatek 1	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Reološki dodatek 2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Zaviralec rje	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
DMEA	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

3.3 Nanos premazov

Nanos premazov smo nanесли na 10 standardnih jeklenih testnih ploščic R-36 (proizvajalec Q-Lab). V tabeli 7 je prikazana namembnost 10 testnih ploščic.

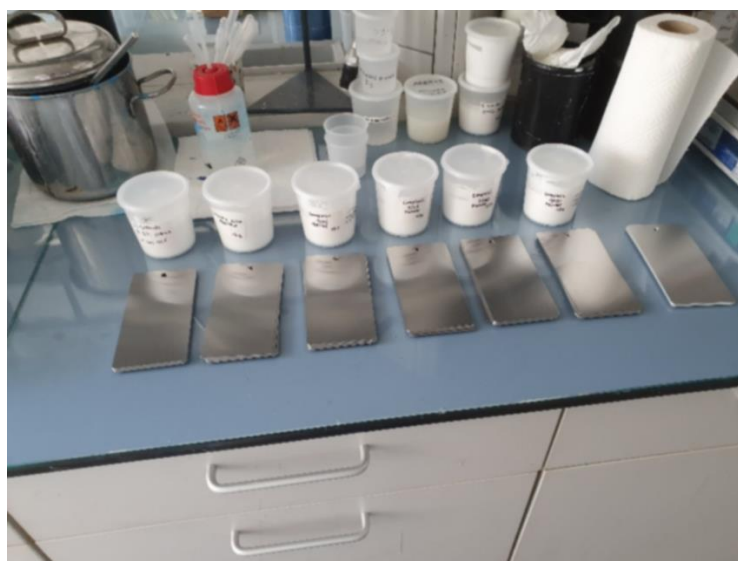
Tabela 7: Namembnost testnih ploščic

Število testnih ploščic	Namembnost
1	Merjenje trdote, sijaja in debeline
3	Udarna žilavost
1	Test elastičnosti
1	Odpornost na kamenjanje
2	Vlažna komora
2	Slana komora

Premaze smo nanесли z nanašalcem za premaze, debelina mokrega filma je bila 400 μm . Na sliki 10 so prikazani različni nanašalci, slika 11 prikazuje naše premaze in testne ploščice pred nanosom premazov.

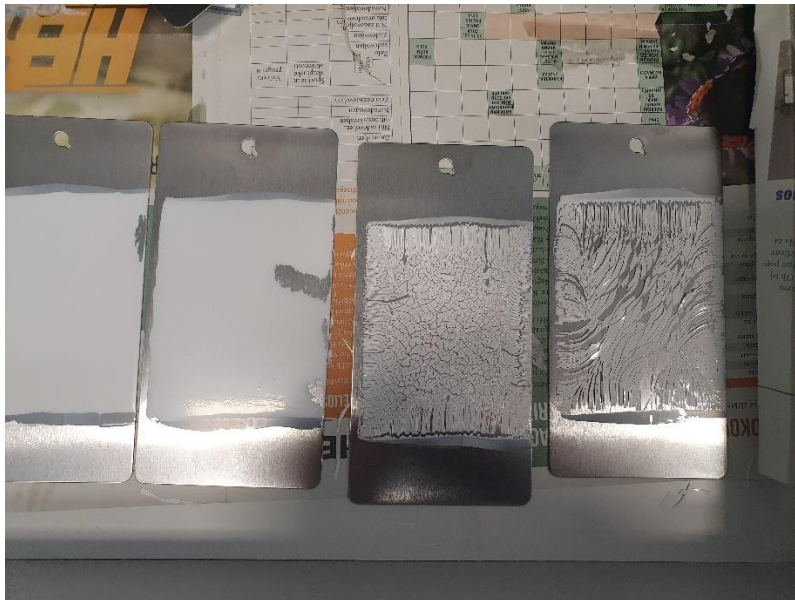


Slika 10: Različni nanašalci [1]



Slika 11: Prikaz premazov in testnih ploščic pred nanosom premazov

Po nanosu premazov je sledilo sušenje z vsakodnevnim spremljanjem trdote in debeline na za to določenih ploščicah. Po nanosu osnovne formulacije smo ugotovili, da z izbrano formulacijo premaza P-4 in P-5 ne tvorita suhega filma. Efekt, ko premaza P-4 in P-5 nista tvorila homogenega suhega filma, je predstavljen v spodnji sliki 12.



Slika 12: Efekt pokanja in neustvarjenega homogenega suhega filma

3.4 Karakterizacija in predstavitev metod testiranj

Karakterizacijo in testiranje naših posušenih premazov smo naredili v dveh korakih. Najprej smo spremljali trdote in debeline testnih vzorcev v časovnem obdobju 15 dni. Temu so sledili mehanski testi in testiranje v vlažni in slani komori.

3.4.1 Določevanje minimalne temperature tvorbe filma naših premazov

Določanje MTTF premaznih sistemov se določa z nanosom na površino, ki ima definiran temperaturni razpon (od -10 do 60 °C). Predstavlja pospešeno sušenje premazov pri različnih temperaturah, da lahko določimo temperaturno mejo za tvorbo homogenega suhega filma (brez razpok). Na sliki 13 je prikazana naprava RHOPPOINT MFFT 60, na kateri smo opravili vse naše meritve. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 2115.



Slika 13: Naprava RHOPOINT MFFT 60

3.4.2 Preskus trdote z dušenjem nihanja po Königu

Trdoto suhih filmov premaznih sredstev smo določili posredno z merjenjem časa dušenega nihanja nihala na površini premaznega sredstva oz. suhega filma. Izmerili smo čas, v katerem se amplituda nihanja zmanjša na predpisano vrednost: od 6° na 3° . Krajši kot je čas dušenja, manjša je trdota. Minimalna debelina suhega filma za ustrezne rezultate je morala biti vsaj $30 \mu\text{m}$. Meritev smo opravili pri temperaturi $23 \pm 2^\circ\text{C}$ in vlažnosti $50 \pm 5\%$. Čas dušenja nihala smo merili na treh različnih delih naše preskusne ploščice. Ploščico smo postavili v mizico tako, da naš premaz gleda navzgor. Nihalo, brez bočnega premika osi, smo zavihтели pod ustreznim kotom in ga pustili, da se nasloni na predvideni omejevalnik. Nihalo smo spustili in hkrati zagnali štoparico. Pri preskusu dušenja nihala z uporabo Königovega nihala je običajna praksa merjenje števila nihajev. Čas zmanjšanja amplitude nihaja smo izračunali tako, da smo število nihajev pomnožili z 1,4 s. V našem primeru smo uporabili avtomatsko napravo, ki samodejno meri čas dušenja [7]. Na sliki 14 je prikazana naprava ERICHSEN Pendulum Damping Tester Model 299/300, na kateri smo izvedli vse meritve. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 1522.



Slika 14: Naprava ERICHSEN Pendulum Damping Tester Model 299/300

3.4.3 Določevanje debeline suhega filma

Debelina premaza, ki je nanešen na substrat, je razdalja med površino filma in površino podlage [8]. V našem primeru smo debeline suhega filma na naših testnih ploščicah merili s elektronskim merilnikom debelin suhih filmov, ki deluje na principu magnetne indukcije in je nedestruktivna metoda. Meritev smo opravili na 9 do 12 različnih mestih na isti testni ploščici, da nam je naprava podala povprečno vrednost suhega filma po celotni površini ploščice. Na sliki 15 je prikazana naprava FISCHERSCOPE MMS PC2, s katero smo opravili vse meritve. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 2808.



Slika 15: Naprava FISCHERSCOPE MMS PC2

3.4.4 Določevanje sijaja premazom

Sijaj je optična lastnost površine, za katero je značilna njena sposobnost, da zrcalno odbija svetlobo. Vrednost sijaja je navedena v enotah sijaja (GU). Vrednosti sijaja ne smemo interpretirati in izraziti kot »% odseva«. Na vrednost sijaja vplivajo značilnosti površine, npr. hrapavost, tekstura, struktura vzorca [9]. V našem primeru smo testne ploščice vstavili v testno mizico na napravi in ta nam je določila vrednost sijaja naših vzorcev pri kotu 60°. Na sliki 16 je predstavljena naprava BYK haze-gloss, s katero smo opravili vse naše meritve. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 2813.



Slika 16: Naprava BYK haze-gloss

3.4.5 Test elastičnosti

Izdelek smo z enakomerno debelino nanegli na ravne testne ploščice. Po sušenju/utrjevanju smo elastične lastnosti barvnega filma določili tako, da smo testne ploščice najprej namestili med obroče. V ploščico smo nato z enakomerno hitrostjo, ki je po ISO standardu $0,2 \text{ mm/s} \pm 0,02 \text{ mm/s}$, potisnili hemisferični indentor, tako da se je oblikovala kupolasta oblika s premazom na zunanji strani. Deformacija se je povečala bodisi do določene globine bodisi dokler premaz ne počni in/ali se odlepi od podlage, nato pa smo ocenili rezultat [10]. Če je sam premaz dovolj elastičen, lahko pride tudi do točke, kjer testna ploščica počni. Na sliki 17 je predstavljena naprava za merjenje elastičnosti, s katero smo opravili vse naše meritve. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 1520.



Slika 17: Naprava za merjenje elastičnosti

3.4.6 Udarne žilavost

Pri tej metodi smo ocenjevali odpornost suhega filma našega premaza na razpoke ali luščenje s podloge, ko je ta bila izpostavljena deformaciji zaradi padajoče mase, ki je po standardu 2 funta (0,91 kg), s sferičnim indenterjem premera 15,9 mm, spuščen pod standardnimi pogoji. Enota meritve je podana v funt-colah (lb-in) [11]. V našem primeru smo določevali maksimalno doseženo višino oz. silo udarca na našo testno ploščico. Na sliki 18 je predstavljena naprava za določevanje udarne žilavosti, s katero smo opravili vse naše meritve. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ASTM D2794.



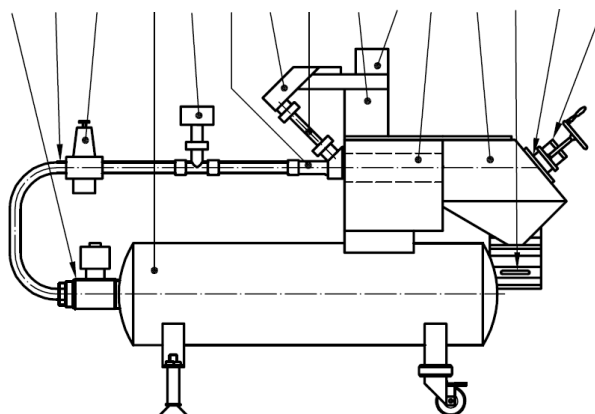
Slika 18: Naprava za določevanje udarne žilavosti

3.4.7 Določanje odpornosti premazov na kamenjanje

Odpornost preizkušene premaza proti drobcem smo preverili tako, da smo nanj v kratkem času projicirali veliko število majhnih ostrih teles. Material, ki smo ga uporabili pri preskusu, je bil železov pesek, katerega velikost delcev mora biti med 4 mm in 5 mm. S stisnjanim zrakom, ki je bil v našem primeru pod tlakom 2 bar, smo ga projicirali na testno ploščico s premazom pod določenim kotom. Uporabili smo 500 g železovega peska in opravili dve meritvi. Obseg povzročene škode ni odvisen le od kota, temveč tudi od stopnje tlaka, mase izstrelkov, trajanja bombardiranja in zasnove preskusne naprave. Ohlapne delce premaznega materiala smo odstranili z lepilnim trakom. Obseg škode smo določili s primerjavo s slikovnimi referenčnimi standardi [12]. V tabeli 8 so predstavljene ocene poškodb pri določevanju odpornosti premazov na kamenjanje, na sliki 19 pa je prikazana shema naprave za določevanje odpornosti premazov na kamenjanje. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 20567-1.

Tabela 8: Ocene poškodb pri določevanju odpornosti premazov na kamenjanje

Ocena poškodbe	Poškodovana površina (%)
0,5	0,2
1,0	1,0
1,5	2,5
2,0	5,5
2,5	10,7
3,0	19,2
3,5	29,0
4,0	43,8
4,5	58,3
5,0	81,3



Slika 19: Naprava za določevanje odpornosti premazov na kamenjanje [12]

3.4.8 Določanje odpornosti premazov na vlago v vlažni komori

To metodo uporabljamo za odkrivanje slabosti premazov (pojavljanje mehurčkov, mehčanje, obarvanje/razbarvanje, pojavljanje krušenja in razpad substratov). Atmosferska temperatura testne komore med procesom kondenzacije je bila 40 °C,

kot je definirano po standardu ISO 6270-2 Za testiranje v toplih in vlažnih atmosferah moramo imeti neprodušno komoro. Izpostavijo se lahko le premazi, ki ne vplivajo eden na drugega. V primeru, da ni drugače definirano, morajo biti vzorčne ploščice iz loščenega jekla v skladu z ISO 1514. Prav tako morajo biti njene dimenzije vsaj 70 mm × 100 mm × 0,3 mm. Na rezultate lahko močno vpliva debelina substrata. Zagotoviti moramo ustrezne dimenzije ploščic pred končno aplikacijo premazov. Vzorčne materiale smo razporedili v komori pod kotom 60° glede na horizontalo na način, da ploščice med seboj niso bile v bližnjem kontaktu, saj le tako zagotovimo veljavno testiranje. Zagotoviti smo morali, da iz sten, stropov ali drugih vzorčnih materialov na vzorčne materiale ni kapljala kondenzirana voda. Testiranje smo zaključili, ko je prišlo do določenih napak na premazu oz. ko je pretekel določen čas [13]. Na sliki 20 je prikazana uporabljena vlažna komora ERICHSEN HYGROTHERM 519. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 6270-2.



Slika 20: Vlažna komora ERICHSEN HYGROTHERM 519

3.4.9 Določanje odpornosti premazov na korozijo v slani komori

Metoda omogoča pospešeno testiranje vpliva nevtralne vlažno-slane atmosfere (slana meglica) na zaščitne premaze v slani komori in zagotavlja enotne razmere pri primerjanju njihove korozijske in površinske obstojnosti. Metoda se uporablja za testiranje obstojnosti posameznih premazov ali premaznih sistemov barv, lakov in podobnih materialov, po izpostavitvi le-teh v slani komori. Dnevno smo kontrolirali porabo slanice (24 ml/dan–48 ml/dan), temperaturo ($35\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) in pH slanice (6,5–7,2). Masna koncentracija NaCl (slanice) je bila $50 \pm 5\text{ g/l}$ (5 % raztopina NaCl – natrijevega klorida). Hrbtišče in robove naših testnih ploščic smo dobro zaščitili, da

niso morebitne napake na njihovi površini pospešile rjavenje, kar smo storili z lepilnim trakom. Pred izpostavitvijo smo na premazu naredili zarezo, ki je morala biti najmanj 25 mm odmaknjena od robov. V slano komoro smo vstavili testne ploščice tako, da so bile pod kotom od 15° do 25° glede na vertikalno os [14]. Na slikah 21 in 22 je prikazana slana komora Q-FOG SSP 600 zunaj in znotraj. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 9227.



Slika 21: Slana komora Q-FOG SSP 600 (zunaj)



Slika 22: Slana komora Q-FOG SSP 600 (znotraj)

3.4.10 Ovrednotenje rezultatov vlažne in slane komore

Ocenjevanje stopnje mehurjenja

Metoda zajema ocenjevanje stopnje mehurjenja zaradi atmosferskih vplivov in procesa naravnega ali pospešenega staranja premaznega sistema po izpostavitvi v določenem okolju. Metoda je primerna za barve, lake, premazne sisteme in sorodne materiale. Trajnost premaza je njegova sposobnost, da se upira škodljivim vplivom v izpostavljenem okolju in je odvisna od časa in načina izpostavitve. Kot rezultat smo podali oceno mehurjenja glede na spodnjo tabelo 9. Ocena mehurjenja se izraža z gostoto (d) in velikostjo mehurjev (S) [15]. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 4628-2.

Tabela 9: Ocene mehurjenja

Gostota mehurjev (d)		Velikost mehurjev (S)	
0	Ni mehurjev	S0	Ni mehurjev
1	Zelo malo mehurjev	S1	Komaj opazni mehurji
2	Malo mehurjev	S2	Majhni mehurčki
3	Srednje gosto	S3	Srednje veliki mehurčki
4	Gosto	S4	Veliki mehurčki
5	Zelo gosto	S5	Zelo veliki mehurčki

Ocenjevanje stopnje rjavenja

Ocena, ki označuje stopnjo tvorbe rje, se zapiše kot Ri. Določimo jo glede na vidno rjo na premazu in na površini testne ploščice. Če se na različnih delih ocenjenega območja pojavljajo različne stopnje rjavenja, smo morali navesti te stopnje rjavenja skupaj z delom, kjer se vsaka pojavi. Pomembno je bilo, da smo te ocene izvajali pod dobro osvetlitvijo [16]. Kot rezultat podamo oceno rjavenja glede na spodnjo tabelo 10. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 4628-3.

Tabela 10: Ocena rjavenja

Ocena rjavenja	Poškodovana površina (%)
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40–50

V spodnji tabeli 11 pa so predstavljene kategorije korozije in njihova definicija za uporabo v določenem okolju po ISO 12944-2.

Tabela 11: Opredelitev kategorij korozije po ISO 12944-2

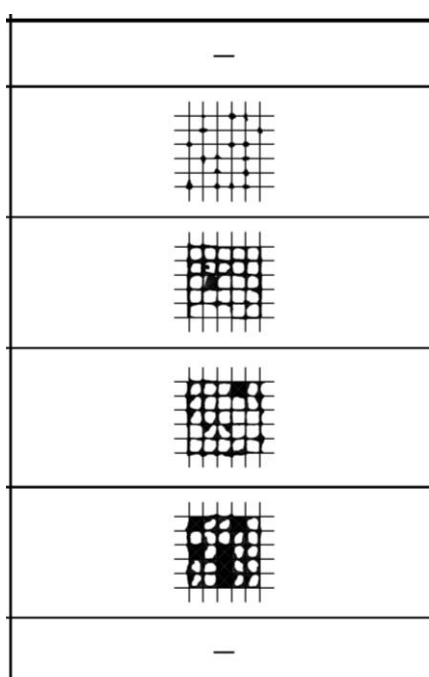
Kategorija	Zunanje okolje	Notranje okolje
C1	/	Ogrevane zgradbe s čisto atmosfero – pisarne, trgovine, šole ...
C2	Atmosfere z nizko onesnaženostjo – podeželje	Neogrevane zgradbe, kjer lahko pride do kondenzacije – skladišča
C3	Urbane in industrijske atmosfere, zmerno onesnažene s SO ₂ , obmorske izpostave z nizko slanostjo	Proizvodni prostori z visoko vlago in nekaj onesnaženja – proizvodnja hrane, pivovarne, pralnice ...
C4	Industrijska in obmorska območja z zmerno slanostjo	Kemijski obrati, bazeni, obalne ladje, ladjedelnice
C5-M	Obalna in morska področja z visoko slanostjo	Zgradbe s skoraj stalno kondenzacijo in visoko onesnaženostjo

Test križnega reza

Ko smo nanесли premaz na testno ploščico, smo lahko ocenili sposobnost oprijema premaza na površino. Metoda ni primerna za premazne sisteme debeline več kot 250 µm ali za večslojne premaze. Zagotoviti smo morali rezalno orodje s pravilno obliko in dobro stanje rezalnih robov. Rezalno orodje z več rezili je moralo imeti šest rezalnih robov, ki so bili med seboj oddaljeni 1 mm, 2 mm ali 3 mm. Rezalno orodje smo držali tako, da je bilo rezilo pravokotno na površino testne plošče. Z enakomernim pritiskom na rezalno orodje in z ustreznim razmičnim vodikom smo naredili dovoljšno število rezov v premaz z enakomerno hitrostjo rezanja. Vsi rezi so morali prodreti do površine podlage. To smo ponovili, tako da smo naredili nadaljnje vzporedne reze enakega števila, pri čemer smo prvotne reze prečkali pod kotom 90° nanje, tako da je nastal mrežasti vzorec. Ploščo smo prebrisali z mehko krtačo večkrat nazaj in večkrat naprej vzdolž vsake od diagonal rešetkastega vzorca in nato dodatno nalepili lepilni trak. Da smo zagotovili dober stik s prevleko, smo trdno drgnili trak s konico prsta ali nohta. V 5 minutah po namestitvi traku smo ga odstranili tako, da smo prijeli prosti konec in ga enakomerno povlekli pod kotom, ki je bil čim bližje 60° [17]. V spodnji tabeli 12 so predstavljene klasifikacije rezultatov in na sliki 23 je tudi vizualni prikaz. Metodo smo izvedli na podlagi standarda ISO 2409.

Tabela 12: Klasifikacije rezultatov križnega reza

Klasifikacija	Opis
0	Robovi rezov so popolnoma gladki; nobeden od kvadratov mreže ni ločen.
1	Ločitev majhnih delcev premaza na stičišču rezov. Prizadeta je površina križnega reza, ki ni večja od 5 %.
2	Premaz se je luščil vzdolž robov in/ali na presečiščih rezov. Prizadeta je površina križnega reza, ki je večja od 5 %, vendar ne večja od 15 %.
3	Premaz se je ob robovih rezov delno ali v celoti luščil v velikih trakovih in/ali se je delno ali v celoti luščil na različnih delih kvadratov. Prizadeta je površina križnega reza, ki je večja od 15 %, vendar ne večja od 35 %.
4	Premaz se je na robovih rezov v velikih trakovih luščil in/ali so se nekateri kvadratki delno ali v celoti odlepili. Prizadeta je površina križnega reza, ki je večja od 35 %, vendar ne večja od 65 %.
5	Vsaka stopnja luščenja, ki je ni mogoče razvrstiti niti po klasifikaciji 4.



Slika 23: Izgled površine po opravljenem križnem rezu (od zgoraj klasifikacija 0–5)

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 Določitev minimalne temperature tvorbe filma naših premazov

V tabeli 13 so prikazani rezultati testiranja MTTF za našo osnovno formulacijo in po tem, ko smo dodali dodatek B. Iz rezultatov je razviden razlog, zakaj premaza P-4 in P-5 nista tvorila homogenega suhega filma. Njun MTTF je bil nad temperaturo, pri kateri smo sušili naše vzorce. Dodatek B je vsem našim testiranim vzorcem dovolj znižal MTTF, da po njegovem dodatku pri nobenem od vzorcev ni bilo ponovne težave s tvorbo homogenega suhega filma.

Tabela 13: Rezultati testiranja MTTF

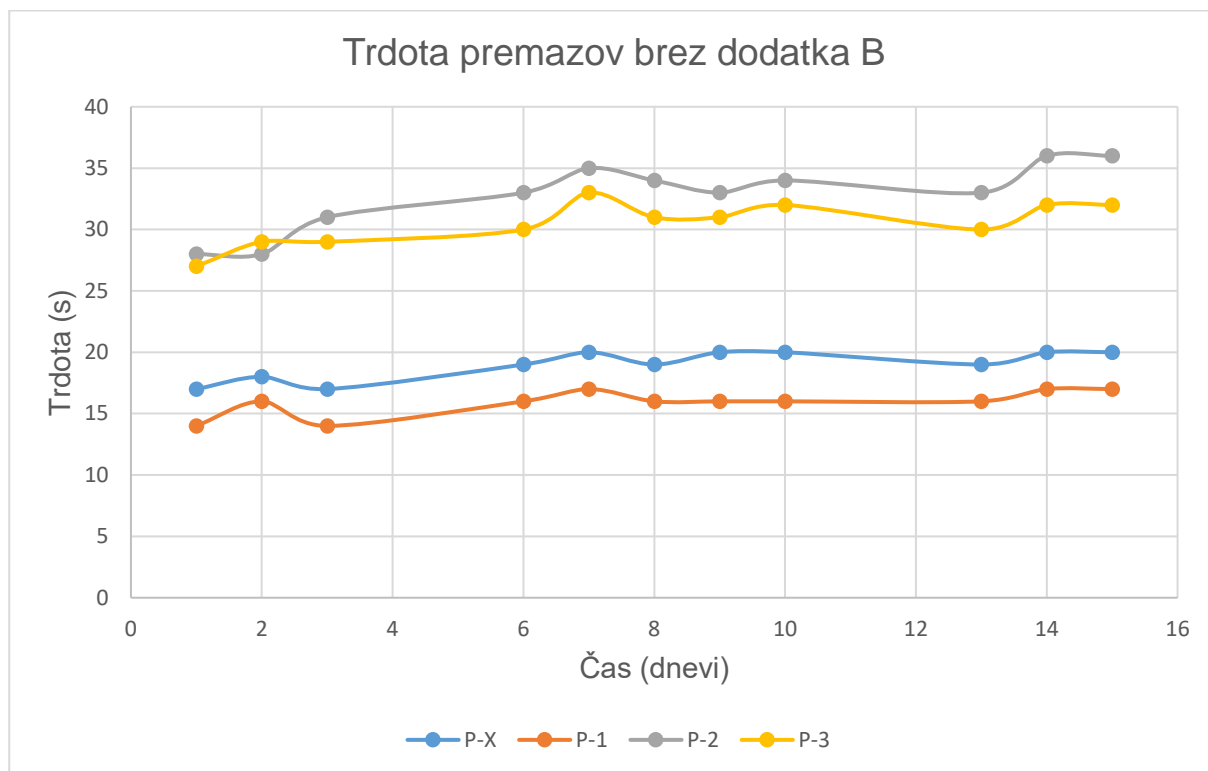
Rezultati v °C	P-X	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Verzija brez B	12,5	11	0	18	29,5	29
Verzija z 2% B	-1	-1	0	2	13	15

4.2 Preskus trdote z dušenjem nihanja po Königu

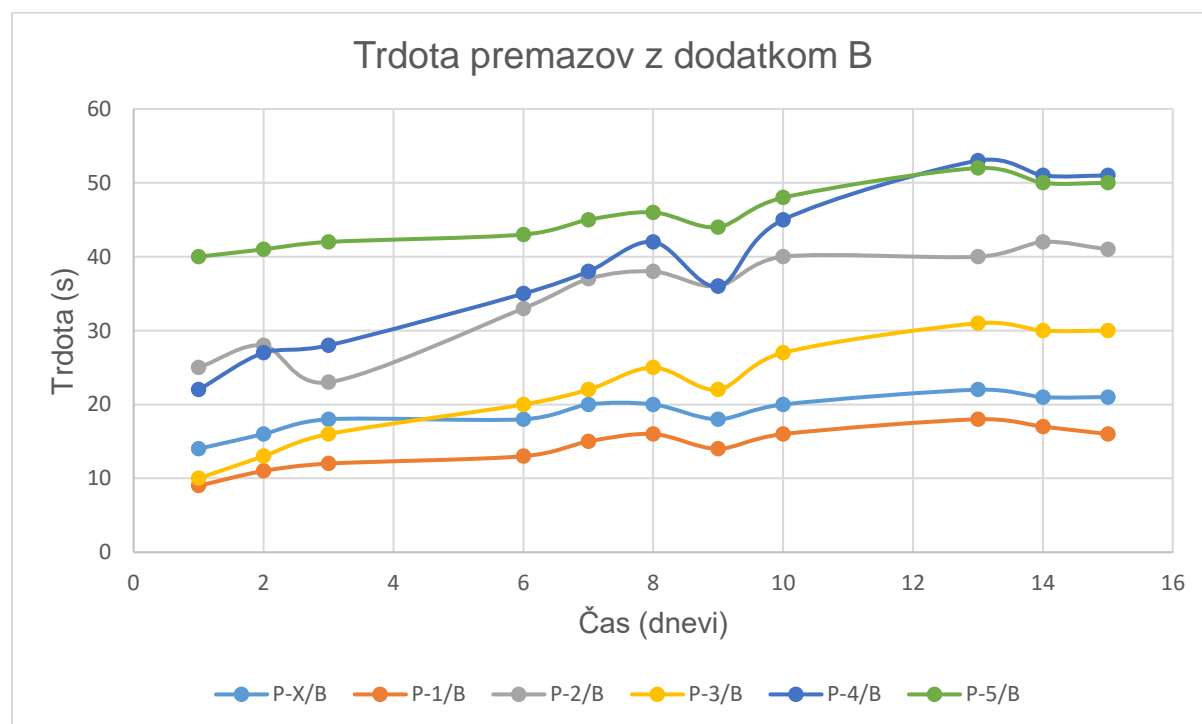
V tabeli 14 so prikazani rezultati meritev preskusa trdote z dušenjem nihanja po Königu za naše vzorce premazov. Meritve smo izvajali 15 dni v enakem časovnem razmiku. Iz tabele 14 in slike grafa 24 lahko vidimo, da je v osnovni verziji najvišjo trdoto dosegel premaz P-2 (36 s), najnižjo premaz P-1 (17 s). Rezultati trdot za premaze z dodanim B, ki jih prikazuje slika 25 in tabela 14, prikazujejo, da je najvišjo trdoto dosegel premaz P-4/B (51 s), najnižjo pa premaz P-1/B (16 s). Opazimo lahko, da imajo testirani premazi v verziji z dodanim B nižje začetne trdote ter primerljive končne trdote v primerjavi z osnovno verzijo. Zaradi velikih razlik v trdotah med vezivi lahko naše premaze razdelimo v tri skupine. Iz tega lahko sklepamo, da sta premaza, narejena z vezivoma V-X in V-1, mehka, premaza, narejena z vezivoma V-4 in V-5, trda, in da premaza, narejena z vezivoma V-2 in V-3, sodita med srednje mehke oz. srednje trde.

Tabela 14: Prikaz rezultatov preskusa trdote

Trdota (s)	1. dan	2. dan	3. dan	6. dan	7. dan	8. dan	9. dan	10. dan	13. dan	14. dan	15. dan
P-X	17	18	17	19	20	19	20	20	19	20	20
P-1	14	16	14	16	17	16	16	16	16	17	17
P-2	28	28	31	33	35	34	33	34	33	36	36
P-3	27	29	29	30	33	31	31	32	30	32	32
P-X/B	14	16	18	18	20	20	18	20	22	21	21
P-1/B	9	11	12	13	15	16	14	16	18	17	16
P-2/B	25	28	23	33	37	38	36	40	40	42	41
P-3/B	10	13	16	20	22	25	22	27	31	30	30
P-4/B	22	27	28	35	38	42	36	45	53	51	51
P-5/B	40	41	42	43	45	46	44	48	52	50	50



Slika 24: Grafični prikaz spreminjanja trdote premazov brez dodatka B



Slika 25: Grafični prikaz spreminjanja trdote premazov z dodatkom B

4.3 Določitev debeline suhega filma

V tabelah 15 in 16 so prikazani rezultati določevanja debeline suhega filma za obe verziji naših premazov. V osnovni verziji je najvišjo povprečno debelino dosegel premaz P-2 (112 μm) in najnižjo premaz P-3 (106 μm). V verziji z dodanim B pa je najvišjo povprečno debelino premazov dosegel premaz P-5/B (119 μm) in najnižjo premaz P-2/B (108 μm). Rezultati debelin na ploščicah za posamezno namembnost morajo biti med seboj primerljivi, da lahko ustrezno ovrednotimo nadaljnje rezultate testov, ki so se na njih izvajali. Če je ta debelina na kateri izmed ploščic preveč izstopala, smo jo zamenjali s ploščico, ki je imela bolj primerno debelino, kar smo v tabelah označili z zvezdico. Meritve debeline smo izvedli na zadnji dan meritev po točki 4.2. S tem smo zagotovili, da je bil premaz pred testiranjem res posušen.

Tabela 15: Prikaz rezultatov določevanja debeline suhega filma osnovne verzije premazov

Ploščice (Namembnost)	P-X (μm)	P-1 (μm)	P-2 (μm)	P-3 (μm)
1. (Merjenje trdote, debeline in sijaja)	123	96	128	125
2. (Test elastičnosti)	116*	106	103*	98
3. (Odpornost na kamenjanje)	108	110	114	106*
4. (Udarne žilavost 1)	107	111	103	104
5. (Udarne žilavost 2)	109	113	114*	103
6. (Udarne žilavost 3)	107	113	101	97*
7. (Vlažna komora 1)	96	110	113	106
8. (Vlažna komora 2)	100	107	116	108
9. (Slana komora 1)	115	106	117	104
10. (Slana komora 2)	104*	105	110	105
Pov.	109	108	112	106

Tabela 16: Prikaz rezultatov določevanja debeline suhega filma z dodanim B

Ploščice (Namembnost)	P-X/B (μm)	P-1/B (μm)	P-2/B (μm)	P-3/B (μm)	P-4/B (μm)	P-5/B (μm)
1. (Merjenje trdote, debeline in sijaja)	115	114	123	124	131	137
2. (Test elastičnosti)	112	103	110	105	123	116
3. (Odpornost na kamenjanje)	115	108*	110	127*	117	116
4. (Udarne žilavost 1)	101	108	98	102	109	117
5. (Udarne žilavost 2)	106	111	98	107	112*	107
6. (Udarne žilavost 3)	118	112	105	106	109	122
7. (Vlažna komora 1)	116	93*	107	110	111	117
8. (Vlažna komora 2)	109	111	114*	106	110*	118
9. (Slana komora 1)	110	116	113	140*	110	120
10. (Slana komora 2)	118	111	104*	118	112	121
Pov.	112	109	108	115	114	119

4.4 Določitev sijaja premazom

V tabelah 17 in 18 so prikazani rezultati določevanj sijaja obeh verzij naših premazov. Iz tabel lahko razberemo, da je v osnovni verziji najvišji sijaj dosegel premaz P-3 ($60,2 \pm 0,5$) in najnižjega premaz P-2 ($50,7 \pm 1,4$). V verziji z dodanim B je najvišji sijaj dosegel premaz P-5/B ($64,7 \pm 2,5$) ter najnižjega premaz P-2/B ($42,7 \pm 0,7$). Če primerjamo med verzijama, vidimo, da imata premaza iz veziv V-1 in V-2 boljši sijaj brez dodanega B. Ravno nasprotno pa velja za premaza, narejena iz veziv V-X in V-3, kjer je sijaj v verziji z dodanim B boljši kot v osnovni verziji, kar kaže na to, da je dodatek B izboljšal njune vizualne lastnosti. Višji kot je sijaj, bolj sijajni efekt ima premaz. Meritve sijaja smo izvedli na zadnji dan meritev po točki 4.2. S tem smo zagotovili, da je bil premaz pred testiranjem res posušen.

Tabela 17: Določen sijaj premazom osnovne verzije

Verzija 1	Sijaj (GU)
P-X	$53,5 \pm 0,4$
P-1	$51,1 \pm 0,1$
P-2	$50,7 \pm 1,4$
P-3	$60,2 \pm 0,5$

Tabela 18: Določen sijaj premazom z dodanim B

Verzija 2	Sijaj (GU)
P-X/B	$54,3 \pm 1,3$
P-1/B	$46,7 \pm 2,7$
P-2/B	$42,7 \pm 0,7$
P-3/B	$61,1 \pm 0,3$
P-4/B	$59,9 \pm 1,2$
P-5/B	$64,7 \pm 2,5$

4.5 Mehanski testi (test elastičnosti, udarna žilavost, križni rez suhega filma in odpornost premazov na kamenjanje)

V tabelah 19 in 20 so prikazani rezultati mehanskih testiranj. Pod mehanske teste smo opredelili test elastičnosti, test udarne žilavosti, križni rez suhega filma ter določevanje odpornosti premazov na kamenjanje. Za lažji pregled so vsi opravljeni testi za posamezno verzijo zbrani skupaj v eni tabeli.

V osnovni verziji so se vsi premazi izkazali za zelo elastične, saj je pred poškodbo premaza nastopila deformacija naše testne ploščice. Najvišjo udarno žilavost v osnovni verziji je dosegel premaz P-2 (80 lb-in, kar je tudi maksimum za uporabljeno napravo), medtem ko je najnižjo udarno žilavost v osnovni verziji dosegel premaz P-3 (15 lb-in), kar kaže na njegovo krhkost. Križni rez suhega filma smo naredili za preverjanje adhezije suhih premazov osnovne verzije in iz tabele je razvidno, da imata premaza P-X in P-2 (1) ter premaza P-1 in P-3 (0) primerljive rezultate. Podobno velja

tudi za test odpornosti na kamenjanje, kjer pa so pari premešani – premaza P-X in P-3 (2,5) ter premaza P-1 in P-2 (3,0), kjer pa ima zadnji par slabši rezultat.

V verziji z dodanim B so se premazi od P-X/B do P-4/B izkazali za zelo elastične, saj je pri njih prav tako prišlo do deformacije testne ploščice pred poškodbo premaza. Enako ne moremo trditi za premaz P-5/B, ki je imel najnižjo izmerjeno elastičnost od vseh testnih vzorcev (0,7 mm), kar že kaže na njegovo krhkost. To smo potrdili tudi s testi udarne žilavosti, križnega reza suhega filma ter odpornosti na kamenjanje, kjer je premaz P-5/B dosegel najslabše rezultate glede na vse druge vzorce. Najboljše rezultate mehanskih testov verzije z dodanim B je dosegel premaz P-1/B, ki ima sicer primerljive rezultate testa odpornosti na kamenjanje kot premaza P-3/B in P-4/B. Vredno je omeniti, da nobeden vzorec iz obeh verzij ni dosegel dobre ocene za odpornost na kamenjanje. Na slikah 26 in 27 so prikazani primeri opravljenih mehanskih testov na naključjih ploščicah.

Največjo razliko med obema verzijama smo opazili pri udarni žilavosti. Premazoma, ki smo jih naredili iz veziva V-X in V-3 z dodatkom B, se je udarna žilavost povečala. Pri premazih, narejenih iz veziva V-1 in V-2 z dodatkom B, se je ta znižala.

Tabela 19: Prikaz rezultatov mehanskih testov osnovne verzije

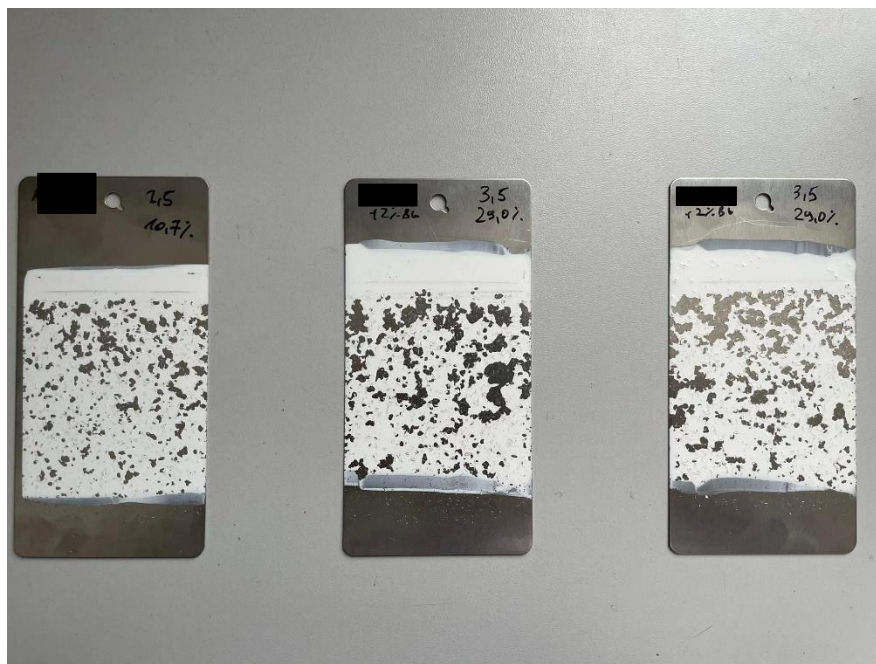
	Test elastičnosti (mm)	Udarna žilavost (lb-in)	Križni rez suhega filma	Odpornost na kamenjanje (ocena)
P-X	10,2 – pok kovine	50	1	2,5 (10,7 %)
P-1	9,6 – pok kovine	70	0	3,0 (19,2 %)
P-2	9,9 – pok kovine	80	1	3,0 (19,2 %)
P-3	9,8 – pok kovine	15	0	2,5 (10,7 %)

Tabela 20: Prikaz rezultatov mehanskih testov verzije z dodanim B

	Test elastičnosti (mm)	Udarna žilavost (lb-in)	Križni rez suhega filma	Odpornost na kamenjanje (ocena)
P-X/B	10,6 – pok kovine	56	1	3,5 (29,0%)
P-1/B	9,8 – pok kovine	65	0	2,5 (10,7%)
P-2/B	9,9 – pok kovine	62	1	3,5 (29,0%)
P-3/B	9,9 – pok kovine	16	0	2,5 (10,7%)
P-4/B	9,4 – pok kovine	12	1	2,5 (10,7%)
P-5/B	0,7	8	4	4,5 (58,3% <)



Slika 26: Primer opravljenih mehanskih testov



Slika 27: Prikazani rezultati testiranja premazov na odpornost na kamenjanje

4.6 Rezultati vlažne komore

V tabelah 21 in 22 so zbrani podatki rezultatov testiranj v vlažni komori kjer smo z M označili pojav mehurjenja in z R pojav rjavenja. Meritve smo izvedli v dveh paralelkah 1 in 2, kar smo prikazali tudi v tabelah. Določili smo jih istočasno, da smo potrdili ponovljivost meritev. Vzorce smo izpostavili v vlažno komoro za 48, 120 in 168 ur. V tabelo 21 smo zapisali rezultate osnovne verzije premazov. Razvidno je, da smo v povprečju paralelnih testnih ploščic najboljše rezultate dosegli pri premazu P-X, paralelka 2 tega vzorca je ostala v odličnem stanju (0 (S0), Ri 0, 0). Najslabše rezultate testiranja v vlažni komori smo dobili pri premazu P-3. Pri tem vzorcu sta bili obe paralelki primerljivi, in sicer smo dobili rezultat 5 S(4), Ri 0, 5. Pri osnovni verziji premazov je vredno izpostaviti, da se na nobeni izmed testnih ploščic ni pojavila rja.

V tabeli 22, kjer smo podali rezultate verzije premazov z dodanim B, lahko vidimo, da smo najboljše rezultate v paralelkah testnih ploščic dosegli s premazom P-X/B. Obe paralelki sta imeli enake rezultate 3 (S1) lokalno, Ri 0, 3. S tem smo dokazali tudi ponovljivost metode. Ugotovili smo, da je bil rezultat z dodatkom B slabši glede na osnovno verzijo, saj se kot najbolj očitna opazi razlika v testu križnega reza. To nam kaže na slabši oprijem verzije z dodatkom B glede na osnovno verzijo. Najslabše rezultate naših testiranj v vlažni komori je v verziji z dodanim B dosegel premaz P-5/B, kjer sta tudi v tem primeru obe paralelni testni ploščici pokazali enake rezultate, in sicer 4 S(4), Ri 5, 5. V verziji z dodanim B je prihajalo do kar izrazitega rjavenja nekaterih premazov in precejšnjo izgubo oprijema pri vseh testiranih premazih. Na slikah 28 in 29 so prikazane ploščice obeh verzij, kjer vidimo tako mehurjenje, rjavenje in opravljen križni rez. Ta rezultat nakazuje, da je pri teh vzorcih prišlo do slabega oprijema premazov verzije z dodanim B.

Tabela 21: Prikaz rezultatov vlažne komore osnovne verzije

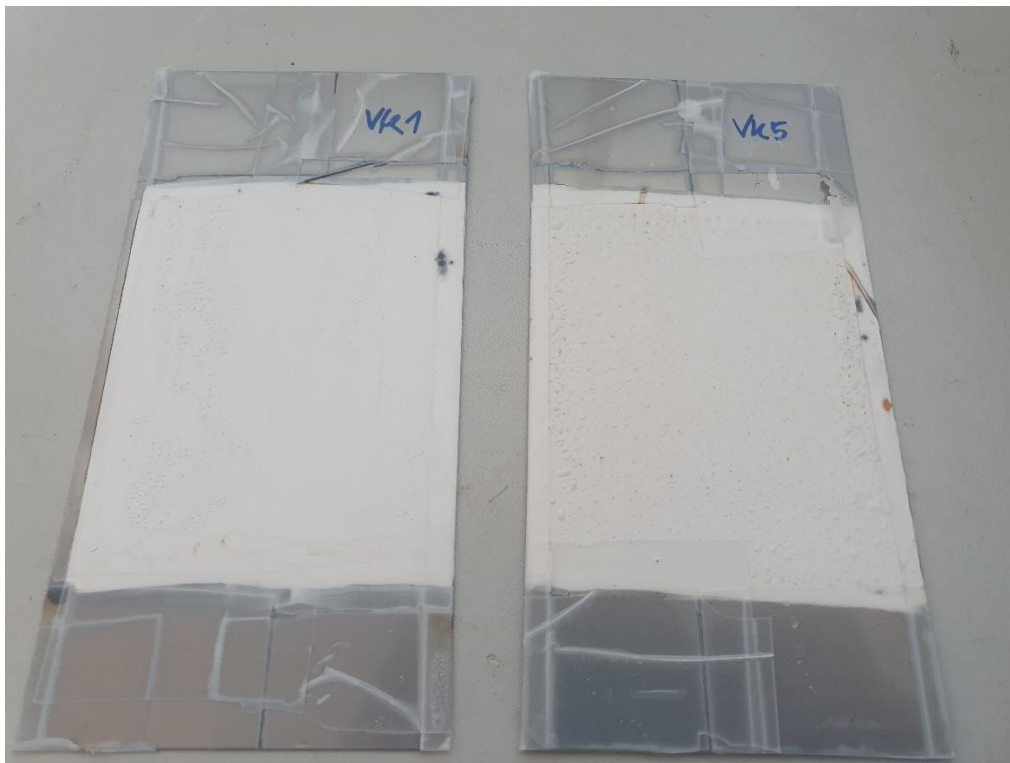
	48 ur		120 ur					168 ur				
	M ¹	R ²	M 1	R 1	M 2	R 2	Križni rez 2	M 1	R 1	M 2	R 2	Križni rez 2
P-X	0 (S0)	Ri 0	0 (S0)	Ri 0	0 (S0)	Ri 0	0	5 (S1)	Ri 0	0 (S0)	Ri 0	0
P-1	2 (S2)	Ri 0	5 (S2)	Ri 0	5 (S3)	Ri 0	2	5 (S2)	Ri 0	5 (S3)	Ri 0	2
P-2	1 (S3)	Ri 0	1 (S4)	Ri 0	2 (S4)	Ri 0	3	2 (S2)	Ri 0	2 (S4)	Ri 0	3
P-3	3 (S2)	Ri 0	5 (S4)	Ri 0	5 (S4)	Ri 0	5	5 (S4)	Ri 0	5 (S4)	Ri 0	5

¹ M -mehurjenje

² R - rjavenje

Tabela 22: Prikaz rezultatov vlažne komore verzije z dodanim B

	48 ur		120 ur					168 ur				
	M	R	M 1	R 1	M 2	R 2	Križni rez 2	M 1	R 1	M 2	R 2	Križni rez 2
P-X/B	0 (S0)	Ri 0	0 (S0)	Ri 0	0 (S0)	Ri 0	1	3 (S1)	Ri 0	3 (S1)	Ri 0	3
P-1/B	2 (S1)	Ri 0	5 (S1)	Ri 0	5 (S1)	Ri 0	1	5 (S1)	Ri 0	5 (S1)	Ri 0	2
P-2/B	3 (S3)	Ri 0	3 (S5)	Ri 1	4 (S4)	Ri 1	3	3 (S3)	Ri 1	4 (S4)	Ri 1	5
P-3/B	3 (S2)	Ri 0	4 (S4)	Ri 0	5 (S4)	Ri 0	5	5 (S4)	Ri 0	5 (S4)	Ri 0	5
P-4/B	0 (S0)	Ri 0	3 (S2)	Ri 0	3 (S4)	Ri 0	3	4 (S3)	Ri 0	3 (S3)	Ri 0	4
P-5/B	3 (S3)	Ri 2	4 (S4)	Ri 4	4 (S4)	Ri 4	5	4 (S4)	Ri 5	4 (S4)	Ri 5	5



Slika 28: Prikaz rezultatov vlažne komore osnovne verzije



Slika 29: Prikaz rezultatov vlažne komore verzije z dodanim B

4.7 Rezultati slane komore

V tabelah 23 in 24 so zbrani podatki rezultatov testiranj v slani komori, kjer smo z M označili pojav mehurjenja in z R pojav rjavenja. Meritve smo izvajali v dveh paralelkah 1 in 2, kar smo prikazali tudi v tabelah. Vzorce smo ocenili istočasno, da smo zagotovili ponovljivost meritev. Ocenili smo jih v časovnih intervalih po 48, 120 in 168 urni izpostavljenosti v slani komori. V tabeli 23 so zapisani rezultati osnovne verzije premazov. Razvidno je, da smo v povprečju paralelnih testnih ploščic najboljše rezultate dosegli pri premazu P-X, pri katerem je ena od ploščic po 120-urni izpostavitvi imela odličen rezultat. Po času 168 ur izpostavljenosti se je stanje spremenilo, a končni rezultat je bil vseeno boljši kot pri ostalih vzorcih 2 (S3), Ri 2 in Ri 1. Najslabše rezultate testiranja v slani komori je v osnovni verziji premazov dosegel premaz P-2, ki je imel na obeh testnih ploščicah zelo pogoste in srednje velike mehurje 5 (S3) ter 5 (S3) in je bil povsem prerjaven (Ri 5) na obeh testnih ploščicah.

Iz tabele 24, v kateri smo podali rezultate verzije premazov z dodanim B, je razvidno, da je v povprečju paralelnih testnih ploščic najboljše rezultate dosegel premaz P-X/B. Površina premaza je bila na obeh ploščicah v dokaj sprejemljivem stanju, a ob robovih in ob rezu so se pojavili mehurji. Rezultat je bil 4 S(3) ter 3 (S3) in 5 (S3). Če primerjamo z ostalimi premazi je stopnja rjavenja Ri 1 nizka. Če pogledamo ostale rezultate, težko ocenimo, kateri premaz se je izkazal za najslabšega, saj imajo vsi visoko stopnjo mehurjenja in rjavenja. Mogoče je tu vredno izpostaviti, da je premaz P-1 imel na paralelnih ploščicah nižjo stopnjo rjavenja od ostalih Ri 3 in Ri 4. Rezultati

kažejo na to, da mogoče nismo izbrali najbolj optimalne razvojne formulacije. Na slikah 30–32 lahko vidimo primere rezultatov testiranj v slani komori.

Tabela 23: Prikaz rezultatov slane komore osnovne verzije

	48 ur		120 ur				168 ur			
	M	R	M 1	R 1	M 2	R 2	M 1	R 1	M 2	R 2
P-X	0 (S0)	Ri 0	0 (S0)	Ri 2	0 (S0)	Ri 1	2 (S3)	Ri 2	2 (S3)	Ri 1
P-1	5 (S2)	Ri 0	5 (S3)	Ri 2	5 (S2)	Ri 2	5 (S3)	Ri 2	5 (S3)	Ri 3
P-2	5 (S2)	Ri 1	5 (S3)	Ri 5	5 (S3)	Ri 5	5 (S3)	Ri 5	5 (S3)	Ri 5
P-3	0 (S0)	Ri 0	5 (S2)	Ri 2	5 (S2)	Ri 2	5 (S2)	Ri 2	3 (S4)	Ri 4

Tabela 24: Prikaz rezultatov slane komore verzije z dodanim B

	48 ur		120 ur				168 ur			
	M	R	M 1	R 1	M 2	R 2	M 1	R 1	M 2	R 2
P-X/B	0 (S0)	Ri 0	4 (S3)	Ri 1	4 (S2)	Ri 1	4 (S3)	Ri 1	3 (S3)	Ri 1
P-1/B	5 (S2)	Ri 0	5 (S3)	Ri 3	5 (S3)	Ri 4	5 (S3)	Ri 3	5 (S3)	Ri 4
P-2/B	5 (S2)	Ri 3	5 (S3)	Ri 5	5 (S3)	Ri 5	5 (S3)	Ri 5	5 (S3)	Ri 5
P-3/B	0 (S0)	Ri 0	4 (S5)	Ri 3	4 (S5)	Ri 3	4 (S5)	Ri 4	4 (S5)	Ri 3
P-4/B	2 (S2)	Ri 0	4 (S5)	Ri 5	3 (S5)	Ri 4	5 (S4)	Ri 5	3 (S5)	Ri 4
P-5/B	5 (S2)	Ri 2	5 (S2)	Ri 5	5 (S2)	Ri 5	5 (S2)	Ri 5	5 (S2)	Ri 5



Slika 30: Primer totalne delaminacije po izpostavitvi pogojem v slani komori



Slika 31: Slab rezultat testiranja v slani komori



Slika 32: Sprejemljiv rezultat testiranja v slani komori vzorca P-X

5 SKLEP

Pri našem delu smo iz enega referenčnega veziva in petih veziv podjetja Helios TBLUS pripravili šest premazov po enakem postopku osnovne formulacije. Po nanosu smo testne ploščice pustili sušiti minimalno 15 dni ter dnevno spremljali trdoto vzorcev. V osnovni verziji je najvišjo trdoto dosegel premaz P-2, v verziji z dodanim koalescentom 2-butoksietanol (B) pa premaz P-4/B. Po sušenju smo opravili meritve debeline suhega filma, kjer je najvišjo povprečno debelino v osnovni verziji dosegel P-2, v verziji z dodanim B pa premaz P-5/B. Ob koncu sušenja smo izmerili še sijaj naših vzorcev, kjer je v osnovni verziji najboljši sijaj dosegel premaz P-3 ter v verziji z dodanim B premaz P-5/B. Po opravljenih meritvah trdote, debeline in sijaja smo se lotili mehanskih testov. Pri testu elastičnosti so vsi premazi, z izjemo P-5/B, izkazali visoko elastičnost. Pri testu udarne žilavosti je v osnovni verziji premaz P-2 dosegel najboljše rezultate in P-1/B najboljše v verziji z dodanim B. Pri odpornosti na kamenjanje sta v osnovni verziji premaza P-X in P-3 dosegla enako dobre rezultate ter v verziji z dodanim B so enako dobre rezultate dosegli premazi P-1/B, P-3/B in P-4/B. Pri testu križnega reza sta v osnovni verziji najboljše rezultate dosegla premaza P-1 in P-3 ter v verziji z dodanim B premaz P-1/B. Najboljšo odpornost na vlažno in slano okolje je v obeh primerih, v obeh verzijah premazov, dosegel premaz, pripravljen iz veziva V-X. Po naših ugotovitvah smo morali glavni del naše teze zavrniti, saj se nobenemu od premazov ne more dodeliti kategorije C3 za odpornost proti koroziji, ker noben od testiranih premazov ni preživel 48 ur vlažne in 120 ur slane komore brez poškodb. So pa se kot napovedano pokazale določene razlike v aplikacijskih, vizualnih in mehanskih sposobnostih naših premazov. V začetku se je izkazalo, da izbrana formulacija brez dodanega koalescenta (2-butoksietanol) ne omogoča aplikacije premazov P-4 in P-5 pri sobni temperaturi. Za vizualne namene uporabe bi bil zaradi visokega sijaja najbolj uporaben premaz P-5/B, a je v vseh drugih pogledih najslabši premaz glede na uporabljeno formulacijo. Če bi želeli odlične rezultate za vse premaze iz različnih veziv, bi morali posvetiti več časa optimizaciji posameznega premaza, kar pomeni raziskati vplive drugačnih dodatkov (omakal, antipenilcev in reoloških dodatkov). Ko bi bili prepričani, da smo zadovoljni s posamezno formulacijo za vsako vezivo, bi lahko ponovili enak sklop testiranja.

SEZNAM LITERATURE IN VIROV

- [1] Matjaž Kunaver, Polimeri v premazih, Visoka šola za tehnologijo polimerov, Slovenj Gradec, 2011.
- [2] Mušič Branka, Novi funkcionalni premazi z magnetnimi delci, Univerza v Mariboru - Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2012.
- [3] Peter Berce, Optimizacija tvorbe filma premazov na vodni osnovi z uporabo elektrokemijske impedančne spektroskopije Optimizacija tvorbe filma premazov na vodni osnovi z uporabo elektrokemijske impedančne spektroskopije, (2017).
- [4] F.N. Jones, M.E. Nichols, S.P. Socrates P. Pappas, Organic coatings : science and technology.
- [5] DIC Corporation, Acrylic Resins, DIC Corporation. <https://www.dic-global.com/en/products/acryl/> (accessed March 26, 2022).
- [6] Mallard Creek Polymers, Styrene-Acrylic Polymers, Mallard Creek Polymers. <https://www.mcpolymers.com/library/styrene-acrylic-emulsion-polymers> (accessed March 26, 2022).
- [7] ISO 1522:2006: Paints and varnishes - Pendulum damping test, 2006.
- [8] ISO 2808:2019: Paints and varnishes - Determination of film thickness, 2019.
- [9] ISO 2813:1999: Determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20°, 60° and 85°, 1999.
- [10] ISO 1520:2006: Paints and varnishes - Cupping test, 2006.
- [11] ISO 6272-1:2011: Paints and varnishes - Rapid-deformation (impact resistance) tests - Part 1: Falling-weight test, large-area indenter, 2011.
- [12] ISO 20567-1:2005: Paints and varnishes-Determination of stone-chip resistance of coatings-Part 1: Multi-impact testing, 2005.
- [13] ISO 6270: Paints and varnishes - Determination of resistance to humidity, 2017.
- [14] ISO 9227:2006: Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests, 2006.
- [15] ISO 4628-1:2016: Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance - Part 1: General introduction and designation system, 2016.
- [16] ISO 4628-3:2016: Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance - Part 3: Assessment of degree of rusting, 2016.
- [17] ISO 2409:2007: Paints and varnishes - Cross-cut test, 2007.

SEZNAM SLIK

Slika 1: Shematični prikaz omakanja in sušenja premaza [1]	4
Slika 2: Shematski prikaz delitve adhezije [1]	5
Slika 3: Shematski prikaz agregatov, aglomeratov in osnovnih delcev [1]	6
Slika 4: Shematski prikaz omočenja, dispergiranja in stabilizacije [1]	6
Slika 5: Primer veziva [1]	7
Slika 6: Prah titanovega dioksida [1]	9
Slika 7: Prikaz vpliva dodanega omakala [1]	10
Slika 8: Mešalo IKA EUROSTAR 40 digital	14
Slika 9: Mlin DISPORMAT D-51580	15
Slika 10: Različni nanašalci [1]	16
Slika 11: Prikaz premazov in testnih ploščic pred nanosom premazov	16
Slika 12: Efekt pokanja in neustvarjenega homogenega suhega filma	17
Slika 13: Naprava RHOPOINT MFFT 60	18
Slika 14: Naprava ERICHSEN Pendulum Damping Tester Model 299/300	19
Slika 15: Naprava FISCHERSCOPE MMS PC2	20
Slika 16: Naprava BYK haze-gloss	21
Slika 17: Naprava za merjenje elastičnosti	22
Slika 18: Naprava za določevanje udarne žilavosti	22
Slika 19: Naprava za določevanje odpornosti premazov na kamenjanje [12]	23
Slika 20: Vlažna komora ERICHSEN HYGROTHERM 519	24
Slika 21: Slana komora Q-FOG SSP 600 (zunaj)	25
Slika 22: Slana komora Q-FOG SSP 600 (znotraj)	25
Slika 23: Izgled površine po opravljenem križnem rezu (od zgoraj klasifikacija 0–5)	28
Slika 24: Grafični prikaz spreminjanja trdote premazov brez dodatka B	30
Slika 25: Grafični prikaz spreminjanja trdote premazov z dodatkom B	30
Slika 26: Primer opravljenih mehanskih testov	34
Slika 27: Prikazani rezultati testiranja premazov na odpornost na kamenjanje	34
Slika 28: Prikaz rezultatov vlažne komore osnovne verzije	36
Slika 29: Prikaz rezultatov vlažne komore verzije z dodanim B	37
Slika 30: Primer totalne delaminacije po izpostavitvi pogojem v slani komori	38
Slika 31: Slab rezultat testiranja v slani komori	39
Slika 32: Sprejemljiv rezultat testiranja v slani komori vzorca P-X	39

SEZNAM TABEL

Tabela 1: Vsebnost topil in suhe snovi v različnih premaznih sistemih [1]	11
Tabela 2: Uporabljena veziva	12
Tabela 3: Uporabljene sestavine paste in dokončevanja	12
Tabela 4: Seznam imen vzorcev in njihov opis.....	13
Tabela 5: Podatki potrebnih količin.....	14
Tabela 6: Utežna sestava faze dokončevanja osnovne formulacije	15
Tabela 7: Namembnost testnih ploščic.....	16
Tabela 8: Ocene poškodb pri določevanju odpornosti premazov na kamenjanje	23
Tabela 9: Ocene mehurjenja	26
Tabela 10: Ocena rjavenja	26
Tabela 11: Opredelitev kategorij korozije po ISO 12944-2	27
Tabela 12: Klasifikacije rezultatov križnega reza.....	28
Tabela 13: Rezultati testiranj MTTF	29
Tabela 14: Prikaz rezultatov preskusa trdote	29
Tabela 15: Prikaz rezultatov določevanja debeline suhega filma osnovne verzije premazov.....	31
Tabela 16: Prikaz rezultatov določevanja debeline suhega filma z dodanim B	31
Tabela 17: Določen sijaj premazom osnovne verzije	32
Tabela 18: Določen sijaj premazom z dodanim B	32
Tabela 19: Prikaz rezultatov mehanskih testov osnovne verzije	33
Tabela 20: Prikaz rezultatov mehanskih testov verzije z dodanim B	33
Tabela 21: Prikaz rezultatov vlažne komore osnovne verzije	35
Tabela 22: Prikaz rezultatov vlažne komore verzije z dodanim B.....	36
Tabela 23: Prikaz rezultatov slane komore osnovne verzije.....	38
Tabela 24: Prikaz rezultatov slane komore verzije z dodanim B	38

SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

η - viskoznost

τ - strižna napetost

D - strižna hitrost

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

UV - ultra-vijolično

MTTF - minimalna temperatura tvorbe filma

ISO - International Standard Organisation

LCD - liquid crystal display

VOC - volatile organic compounds

HOS - hlapne organske snovi

TiO₂ - titanov dioksid

DMV - demineralizirana voda