

# Ispitivanje zavarivačkih svojstava temeljnih premaza sukladno HRN EN ISO 17652-2

---

**Ražov, Iva**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:173533>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Iva Ražov**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić, dipl. ing.

Student:

Iva Ražov

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr.sc. Ivici Garašiću na savjetima i primjedbama tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se dr.sc. Maji Jurici na konstantnoj potpori, savjetima i kritikama tijekom pisanja diplomskog rada.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Ivanu Stojanoviću, mag. ing. Lari Janković i mag. ing. Ivanu Cindriću s katedre za zaštitu materijala za pomoć pri izradi eksperimenta.

Također hvala tehničkom suradniku Daliboru Denkoviću s katedre za zavarene konstrukcije za pomoć s eksperimentom.

Posebno se zahvaljujem obitelji i prijateljima na pomoći tijekom cjelokupnog studiranja.

Iva Ražov



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:

proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-04/21-6/1
Ur. broj:	15-1703-21

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **IVA RAŽOV**

Mat. br.: 0035200255

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje zavarivačkih svojstava temeljnih premaza sukladno HRN EN ISO 17652-2**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Testing of welding properties on shop primers according HRN EN ISO 17652-2**

Opis zadatka:

U teorijskom dijelu analizirati problematiku zavarivanja preko temeljnih premaza, opisati specifičnosti i dati pregled najčešćih primjena u industrijskoj praksi uključujući brodogradnju. Proučiti niz normi HRN EN ISO 17652 s posebnim naglaskom na dio 2 koji razrađuje ispitivanja zavarivačkih svojstava i zavarljivosti. Opisati potrebna ispitivanja te detaljno razraditi tehničke zahtjeve kao i odgovarajuća izvješća.

U eksperimentalnom dijelu planirati provedbu ispitivanja zavarivačkih svojstava prema metodologiji definiranoj u HRN EN ISO 17652-2. Uz deklarirane postupke i parametre zavarivanja, ispitivanje provesti i s praškom punjenom žicom (136). Na zavarenim uzorcima provesti odgovarajuće probe te ocijeniti prikladnost metoda za primjenu u praksi. Zaključno, usporediti primjenjivost postupaka 135 i 136 na osnovnom materijalu zaštićenom temeljnim premazima i dati smjernice za unaprijeđenje zahtjeva norme HRN EN ISO 17652-2.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
6. svibnja 2021.

Rok predaje rada:  
8. srpnja 2021.

Predviđeni datum obrane:  
12. srpnja do 16. srpnja 2021.

Zadatak zadao:  
prof. dr. sc. Ilyca Garašić

Predsjednica Povjerenstva:  
prof. dr. sc. Diserka Runje

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	II
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS KRATICA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD.....	1
2. TEMELJNI PREMAZI.....	2
2.1. Vrste temeljnih premaza .....	3
2.1.1. Cink – epoksi temeljni premaz .....	5
2.1.2. Cink - silikatni temeljni premaz.....	5
2.1.3. Polivinil butiralni kopolimeri.....	6
2.1.4. Epoksi željezni oksid .....	6
2.1.5. Druga generacija temeljnih premaza na bazi vode .....	6
2.2. Priprema površine .....	8
2.3. Problematika zavarivanja preko temeljnih premaza .....	10
3. PRIMJENA TEMELJNIH PREMAZA U INDUSTRIJSKOJ PRAKSI.....	12
3.1. Primjena temeljnih premaza u brodograđevnoj industriji.....	12
4. MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA .....	16
4.1. Prednosti MAG postupka zavarivanja .....	18
4.2. Nedostatci MAG postupka zavarivanja .....	19
4.3. Zaštitni plinovi .....	19
4.3.1. Reaktivni zaštitni plinovi .....	20
4.4. Prijenos metala kratkim spojevima .....	23
4.5. Prijenos metala prijelaznim lukom .....	24
4.6. Prijenos metala štrcajućim lukom .....	25
4.7. Impulsno zavarivanje .....	26
5. ZAVARIVANJE PRAŠKOM PUNJENOM ŽICOM (FCAW).....	28
5.1. Vrste FCAW postupka .....	29
5.1.1. FCAW – G postupak zavarivanja .....	29
5.1.2. FCAW – S postupak zavarivanja.....	29
5.2. Prednosti FCAW postupka zavarivanja .....	29
5.3. Nedostatci FCAW postupka zavarivanja .....	30
6. ISO 17652-2.....	31
6.1. Test procjene zavarljivosti .....	31
6.1.1. Priprema uzoraka za ispitivanje .....	31
6.1.2. Zavarivanje .....	32
6.1.3. Lom ispitnog zavara.....	33
6.1.4. Ispitivanje i određivanje poroznosti.....	34
6.1.5. Izvještaj o ispitivanju .....	34
6.2. Ispitivanje zavarljivosti .....	35
6.2.1. Priprema uzorka .....	35

---

6.2.2. Postupak.....	36
6.2.3. Pripoji.....	37
6.2.3.1. Zavarivanje .....	38
6.2.4. Ocjenjivanje zavara.....	39
6.2.4.1. Interni pregled.....	39
6.2.5. Izvješće o ispitivanju.....	40
7. EKSPERIMENTALNI RAD.....	41
7.1. Osnovni materijal .....	41
7.2. Nanošenje premaza .....	42
7.3. Debljina premaza .....	45
7.4. Zavarivanje MAG postupkom .....	46
7.5. Zavarivanje FCAW postupkom .....	53
7.6. Priprema uzoraka za ispitivanje .....	57
7.7. Ispitivanje savijanjem .....	58
7.8. Analiza makroizbrusaka.....	61
8. ZAKLJUČAK.....	69
LITERATURA.....	71
PRILOZI.....	73

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Nanošenje temeljnog premaza bezračnom metodom[5] .....	3
Slika 2.	Sačmarenje pomoću automatiziranog stroja u brodograđevnoj industriji[11] .....	9
Slika 3.	Ručno sačmarenje u brodograđevnoj industriji[12] .....	10
Slika 4.	Ovisnost poroznosti metala zavara o debljini sloja temeljnog premaza[3] .....	11
Slika 5.	Ručno nanošenje cink – epoksi temeljnog premaza u brodograđevnoj industriji[14] .....	14
Slika 6.	Automatizirano nanošenje temeljnog premaza[15] .....	14
Slika 7.	Hempel's Galvosil 15700 temeljni premaz[17] .....	15
Slika 8.	Shematski prikaz potrebne opreme za MAG zavarivanje[20] .....	16
Slika 9.	Pištolj za zavarivanje pomoću MAG postupka[20] .....	17
Slika 10.	Proces taljenja metala tijekom MAG postupka[20] .....	17
Slika 11.	Mehanizmi prijenosa metala kod MAG postupka[21] .....	18
Slika 12.	Utjecaj zaštitnog plina na geometriju i penetraciju zavara[20] .....	21
Slika 13.	Shematski prikaz prijenosa kratkim spojem[21] .....	23
Slika 14.	Promjena struje u jedinici vremena za prijenos kratkim spojem [21] .....	23
Slika 15.	Shematski prikaz za prijelazni luk[21] .....	24
Slika 16.	Promjena struje i napona u jedinici vremena za prijelazni luk[21] .....	24
Slika 17.	Shematski prikaz prijenosa štrcajućim lukom[21] .....	25
Slika 18.	Promjena struje i napona u jedinici vremena za štrcajući luk[21] .....	25
Slika 19.	Shematski prikaz prijenosa impulsnim zavarivanjem[23] .....	26
Slika 20.	Grafički prikaz odvajanja kapljice kod impulsnog zavarivanja[24] .....	27
Slika 21.	Shematski prikaz FCAW postupka zavarivanja[26] .....	28
Slika 22.	Raspored ispitnih komada tijekom zavarivanja[26] .....	33
Slika 23.	Lomljenje ispitnog zavara[25] .....	33
Slika 24.	Mjerni listići[29] .....	36
Slika 25.	Položaj djelovanja sile[26] .....	37
Slika 26.	Položaji pripoja[26] .....	37
Slika 27.	Oznake z i a za kutni zavar[30] .....	38
Slika 28.	Ispitni komad za ispitivanje zavarljivosti[26] .....	38
Slika 29.	Ocjenjivanje zavara[26] .....	39
Slika 30.	Dvokomponentni temeljni premaz SHOP primer E .....	42
Slika 31.	Mjerenje količine utvrđivača radi poštivanja zadanog omjera .....	42
Slika 32.	Zamiješani dvokomponentni premaz .....	43
Slika 33.	Kubni aplikator proizvođača Elcometer .....	43
Slika 34.	Pripremljene ploče za nanošenje temeljnog premaza .....	44
Slika 35.	Nanošenje drugog sloja temeljnog premaza pomoću aplikatora .....	44
Slika 36.	Ispitni uzorak nakon završenog postupka premazivanja .....	44
Slika 37.	Postupak mjerenja debljine premaza .....	45
Slika 38.	Prikaz rezultata mjerenja debljine pomoću uređaja Elcometer 456/4 .....	45
Slika 39.	Pripoj .....	46
Slika 40.	Fronius TPS 320i i pripadajući parametri zavarivanja .....	47
Slika 41.	Welbee P400, Daihen Varstroj .....	47
Slika 42.	Postavljeni parametri kod MAG zavarivanja .....	49
Slika 43.	„Bugo Systems“, uređaj za automatiziranje postupka zavarivanja .....	50
Slika 44.	Zaštitni plin .....	50
Slika 45.	Položaj pištolja za zavarivanje MAG postupkom .....	51
Slika 46.	Nepravilnost na uzorku 1A' .....	52
Slika 47.	MIG 500 E, ULJANIK .....	53



Slika 48.	Postavljeni parametri FCAW zavarivanja.....	54
Slika 49.	Specifikacija praškom punjene žice K – 71 TLF[35].....	55
Slika 50.	Nepravilnosti na uzorku 2A .....	57
Slika 51.	Podjela uzorka 1 na dijelove za ispitivanje .....	57
Slika 52.	Podjela uzorka 2 na dijelove za ispitivanje .....	57
Slika 53.	Izrezivanje uzoraka za ispitivanje .....	58
Slika 54.	Uzorci 1A i 1B za ispitivanje savijanjem.....	58
Slika 55.	Uzorci 2A i 2B za ispitivanje savijanjem.....	59
Slika 56.	Makrouzorak 1 .....	61
Slika 57.	Makrouzorak 2 .....	61
Slika 58.	Analiza geometrije zavara makrouzorka 1 (MAG).....	62
Slika 59.	Analiza geometrije zavara makrouzorka 2 (FCAW).....	63
Slika 60.	Prikaz konture zavara makrouzorka 1 (MAG).....	64
Slika 61.	Prikaz konture zavara makrouzorka 2 (FCAW).....	64
Slika 62.	Detalj pogreške u zavaru, makrouzorak 1 (MAG), lijevo.....	65
Slika 63.	Detalj pogreške u zavaru, makrouzorak 2 (FCAW), desno .....	66
Slika 64.	Geometrijske značajke zavara za debljinu premaza 1A ( 94,54 $\mu\text{m}$ ).....	67
Slika 65.	Geometrijske značajke zavara za debljinu premaza 1A' (112,5 $\mu\text{m}$ ) .....	67

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Svojstva glavnih temeljnih premaza[7] .....	4
Tablica 2. Oznake temeljnih premaza[7] .....	5
Tablica 3. Usporedba svojstava temeljnih premaza baziranih na vodi s cink – silikatima[9]..	8
Tablica 4. Zaštitni plinovi kod prijenosa metala kratkim spojem[20] .....	22
Tablica 5. Zaštitni plinovi kod prijenosa metala prijelaznim lukom[20] .....	22
Tablica 6. Parametri zavarivanja za test procjene zavarljivosti[26].....	32
Tablica 7. Kemijski sastav materijala S355NL izražen u masenim udjelima[33] .....	41
Tablica 8. Mehanička svojstva S355NL[33].....	41
Tablica 9. Udarni rad loma, J za S355NL[33] .....	42
Tablica 10. Rezultati mjerenja debljine premaza .....	46
Tablica 11. Tehničke specifikacije Welbee P400, Daihen Varstroj[34] .....	48
Tablica 12. Parametri kod MAG zavarivanja.....	49
Tablica 13. Ispitni uzorak 1 zavaren MAG postupkom, prije čišćenja .....	51
Tablica 14. Ispitni uzorak 1 zavaren MAG postupkom, poslije čišćenja.....	52
Tablica 15. Parametri FCAW zavarivanja .....	54
Tablica 16. Ispitni uzorak 2 zavaren FCAW postupkom prije čišćenja .....	56
Tablica 17. Ispitni uzorak 2 zavaren FCAW postupkom poslije čišćenja.....	56
Tablica 18. Ispitivanje savijanjem.....	59
Tablica 19. Rezultati ispitivanja savijanjem.....	60
Tablica 20. Prikaz veličina izmjerenih na makrouzorku 1, mm (MAG).....	62
Tablica 21. Prikaz veličina izmjerenih na makrouzorku 2, mm (FCAW) .....	63
Tablica 22. Usporedba površina metala zavora.....	64
Tablica 23. Dimenzije pogreške u zavaru, makrouzorak 1 (MAG), lijevo .....	65
Tablica 24. Dimenzije pogreške u zavaru, makrouzorak 2 (FCAW), desno.....	66

**POPIS KRATICA**

<b>Kratika</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
AK	-	Alkid
Ar	-	Argon
AY	-	Akril
CO <sub>2</sub>	-	Ugljikov dioksid
DC	-	Istosmjerna struja
DSF	μm	Debljina suhog filma
DZNM	-	Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo
EN	-	Europske norme
EP	-	Epoksi
ESI	-	Etilsilikat
FCAW	-	Zavarivanje praškom punjenom žicom
GMAW	-	Prijenos metala kratkim spojem
GMAW-P	-	Impulsno zavarivanje
H <sub>2</sub>	-	Vodik
HRN	-	Hrvatski zavod za norme
ISO	-	Međunarodna organizacija za normizaciju
KV	J	Udarni rad loma
MAG	-	Elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina
O <sub>2</sub>	-	Kisik
PVB	-	Polivinil butiral
Re	MPa	Granica razvlačenja
REL	-	Ručno elektrolučno zavarivanje
Rm	MPa	Vlačna čvrstoća
TIG	-	Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u inertnoj atmosferi
VOC	g/L	Hlapljivi organski spojevi
WPS	-	Specifikacija postupka zavarivanja
ZUT	-	Zona utjecaja topline

---

**SAŽETAK**

Diplomski rad pod nazivom „Ispitivanje zavarivačkih svojstava temeljnih premaza sukladno HRN EN ISO 17652-2“ sastoji se od teorijskog i eksperimentalnog dijela. U teorijskom dijelu su razrađene primarne vrste temeljnih premaza, njihova svojstva i specifičnosti primjene, ali se razradio i razvoj novih temeljnih premaza koji su ekološki prihvatljiviji. Kod primjene u industriji fokus je stavljen na brodogradnju zbog velikog značaja i učestalosti primjene pri proizvodnji. Također su prikazane osnovne značajke rada MAG i FCAW postupka zavarivanja, kod MAG postupka zavarivanja detaljnije su razrađeni načini prijenosa metala zbog svog utjecaja na kvalitetu zavara. Za kraj teoretskog dijela je detaljno opisana norma ISO 17652-2 na kojoj se eksperimentalni dio diplomskog rada temelji.

U eksperimentalnom dijelu diplomskog rada provedeno je ispitivanje zavarivačkih svojstava na materijalu S355NL premazanog dvokomponentnim temeljnim premazom na osnovi epoksidnog veziva i poliamidaminskog utvrđivača. Radni komadi su obostrano zavareni kutnim zavarom MAG i FCAW postupcima zavarivanja te je provedena usporedba. Za oba postupka zavarivanja su korišteni isti parametri. Provedeno je ispitivanje savijanjem te analiza makrouzoraka radi usporedbe geometrijskih značajki.

Ključne riječi: MAG, FCAW, ISO 17652-2, ispitivanje savijanjem, kutni zavar, temeljni premaz

---

**SUMMARY**

Thesis entitled "Testing of welding properties of shopprimers according to the HRN EN ISO 17652-2" consists of a theoretical and experimental part. In the theoretical part, the basic types of primers, their properties and specifics of application are elaborated, but the development of new primers that are environmentally friendly is also elaborated. When it comes to the use in the industry the focus was placed on the shipbuilding due to its great importance and frequency of application in production. The basic characteristics of the MAG and FCAW welding process are also presented, with the MAG welding process the methods of metal transfer are elaborated in more detail due to their influence on the weld quality. For the end of the theoretical part, the standard ISO 17652-2 on which the experimental part of the thesis is based is described in detail.

In the experimental part of the thesis, the testing of welding properties of the material S355NL which was coated with two - component shopprimer based on epoxy binder and polyamidamine hardener was conducted. The workpieces were welded on both sides by MAG and FCAW (filler joints) and a comparison was made. The same parameters were used for both welding processes. Bending testing and analysis of macro-samples to compare geometric features have been conducted.

Key words: MAG, FCAW, ISO 17652-2, bending test, fillet joint, shopprimer

## 1. UVOD

Norme ili standardi se sastavljaju u suglasnošću i s odobrenjem ovlaštenih organa, a namjenjuju se općoj i višekratnoj upotrebi. Norme sadrže pravila, odrednice i značajke djelovanja radi postizanja optimalne razine uređenosti u području na koje se norma odnosi. Norme se temelje na provjerenim znanstvenim, tehnološkim i iskustvenim spoznajama, a utvrđuju se dogovorom na određenoj razini, u cilju promicanja najpovoljnije koristi za zajednicu. Osim međunarodnih normi (npr. ISO), primjenjuju se i regionalne, državne, gradske ili jednostavno, interne norme. Normizacija pridonosi prikladnosti proizvoda te proizvodnih postupaka i usluga u njihovoj primjeni, uklanja zapreke u trgovanju i olakšava tehničku suradnju. Pri razmjeni dobara i usluga ciljevi su uklanjanje prepreka u trgovini, olakšavanje tehnološke suradnje i bolji privredni učinci. Preuzetim zakonom o standardizaciji Državnom se Zavodu za Normizaciju i Mjeriteljstvo (DZNM) povjerava rad na normizaciji koji obuhvaća donošenje i primjenu normi i propisa, mjera za osiguranje tehničke i konstrukcijske sigurnosti, osiguranje kvalitete proizvoda i usluga, kao i nadzor nad provođenjem. DZNM je opunomoćena hrvatska ustanova u međunarodnim i regionalnim normizacijskim organizacijama[1].

ISO 17652-2: 2003 opisuje ispitivanja za procjenu utjecaja temeljnih premaza na zavarljivost. Provodi se test procjene zavarljivosti i ispitivanje zavarljivosti:

- Test procjene zavarljivosti

Ovaj test provjere služi kao metoda za procjenu relativne zavarljivosti temeljnog radioničkog premaza (*eng. shopprimer*) određene debljine izradom standardnog zavara i naknadnom procjenom stupnja rezultirajuće poroznosti. Test procjene zavarljivosti je pogodan za izjavu dobavljača o utjecaju pojedinih temeljnih premaza i za slične svrhe.

- Ispitivanje zavarljivosti

Ovo ispitivanje opisuje metodu za procjenu zavarljivosti dodatnih materijala za zavarivanje i kombinacija temeljnih premaza, koristeći različite postupke elektroćnog zavarivanja. Izrađuje se standardni kutni zavar koji omogućuje usporedbu. Izvodi se sveukupna procjena kvalitete izvedenog zavara[2].

## 2. TEMELJNI PREMAZI

Temeljni premazi (*eng. shopprimer*) ili drugim nazivom predproizvodni temeljni premazi (*eng. prefabrication primer*) su zapravo specijalna brzосуšeća premazna sredstva. Jedna od njihovih osnovnih primjena je zaštita od pojave korozije u toku proizvodnog procesa kod čeličnih limova i profila, također služe kao prvi slojevi kod sustava premazivanja. Nanose se u jednolikom sloju, u kontroliranoj debljini nakon što su limovi obrađeni sačmarenjem ili pjeskarenjem kao dijelom pripreme površine. Postupak se uglavnom provodi bezračnim prskanjem (*eng. airless*) gdje nije potrebna primjena razrjeđivača i uz to se ostvaruje velika iskoristivost, moguće je pratiti profil površine te istovremeno održavati jednaku debljinu premaza. Također se može služiti metodom prskanja sa zrakom koja iako ima velike gubitke daje visoku kvalitetu završnog sloja no i dalje ostaje neupotrebljiva u određenim industrijama zbog zagađenja okoliša, duljeg sušenja i tanjeg i poroznijeg sloja. Ručni postupci bojenja četkom tj. kistom (dobra penetracija, ali neravnomjerna debljina) i ličenja valjcima (ravnomjernija debljina i veća produktivnost) se koriste kod zaštite manjih površina kao što su zavari, spojevi i prijelazi i kod lokacija gdje nije moguće izvesti postupak prskanjem. U određenim slučajevima kao što su pojava korozije (hrđe) prije nanošenja završnog premaza ili također kod pojave nekompatibilnosti s ostalim premazima korištenim u toku procesa, temeljni premaz se uklanja.

Što je deblji nanoseni sloj temeljnog premaza to su bolja svojstva zaštite od korozije. Međutim to ima loš utjecaj na samu zavarljivost, kvalitetu, ali i čvrstoću zavara. Potrebno je spomenuti da pritom nastaju i komplikacije pri sušenju te nepovoljni radni uvjeti za same zavarivače tijekom postupaka zavarivanja i rezanja zbog povećanog oslobađanja dimova i para, što je također loše i za sam okoliš. Kod upotrebe temeljnog premaza u različitim industrijama debljina suhog sloja ovisi o preporukama samog proizvođača, ali i o prilagođavanju različitim zahtjevima[3, 4]. Na slici 1 može se vidjeti primjer nanošenja temeljnog premaza u brodogradnji.



**Slika 1. Nanošenje temeljnog premaza bezračnom metodom[5]**

## **2.1. Vrste temeljnih premaza**

Jedna od bitnijih podjela temeljnih premaza je na one sa cinkovim prahom i na one bez cinkovog praha. Iako su se dugi niz godina uglavnom koristili temeljni premazi sa cinkovim prahom zbog jačanja regulativa oko zaštite okoliša te sve veće ekološke osvještenosti taj se postupak sve više preispituje. Stoga se konstantno traže alternativna rješenja koja bi omogućila istu, ako ne i bolju kvalitetu. Posljednjih su godina uloženi veliki naponi u razvijanje temeljnog premaza na bazi vode koji bi bio ne samo ekološki prihvatljiv nego i ekonomski, jedan od takvih je vodorazrijedivi epoksi temeljni premaz pigmentiran željeznim oksidom[6]. U tablici 1 se mogu vidjeti svojstva glavnih temeljnih premaza, a u tablici 2 su prikazane oznake temeljnih premaza.



Tablica 1. Svojstva glavnih temeljnih premaza[7]

VRSTE TEMELJNIH RADIONIČKIH PREMAZA				
SVOJSTVA	CINK – EPOKSI SHOPPRIMER	CINK – SILIKAT SHOPPRIMER	Fe OKSIDNI PIGMENTIRANI EPOKSID	POLIVINIL BUTIRALNI KOPOLIMER
Pakiranje	dvokomponentno	dvokomponentno	dvokomponentno	jednokomponentno
Otapalo	esteri, ketoni	voda, alkohol	esteri, ketoni	alkohol
Razrjeđivač	aromati	alkohol	aromati	ketoni
D.S.F. $\mu\text{m}$	12-20	12-20	20-25	15-25
Antikorozivna svojstva	vrlo dobra	odlična	dobra	zadovoljavaju
Mehanička čvrstoća	dobra	odlična	vrlo dobra	dobra
Utjecaj na zdravlje	pojava cinkove groznice	pojava cinkove groznice	neznatan	neznatan
Međupremazni interval	kritičan	kritičan	ponekad kritičan	dobar
Otpornost na katodnu zaštitu	dobra	dobra	dobra	ograničena

Tablica 2. Oznake temeljnih premaza[7]

OSNOVNE ZNAČAJKE		OZNAKA
Vezivo	Pigment	/
Epoksi (EP)	željezni oksid (F)	EPF
Polivinil butiral (PVB)	željezni oksid (F)	PVBF
Alkid (AK)	željezni oksid (F)	AKF
Akril (AY)	željezni oksid (F)	AYF
Epoksi (EP)	cink prah (Z)	EPZ
Etil-silikat (ESI)	cink prah (Z)	ESIZ

### 2.1.1. Cink – epoksi temeljni premaz

Cink – epoksi temeljni premazi su dvokomponentni temeljni premazi koji se sastoje od cinkovog praha u vezivu epoksidne smole s poliamidom kao ubrzivačem. S tim na umu mogu biti obogaćeni ili reducirani cinkom, ako su obogaćeni imaju udio od 85 % cinkovog praha, a ako su reducirani imaju udio od 55 %. Imaju kratko vrijeme sušenja te su otporni na mehanička opterećenja. Služe kao dobra katodna zaštita zbog anodnog učinka cinka. Nedostatak je upotreba organskih veziva u izradi temeljnih premaza zbog čega dolazi do nastajanja značajnih količina otrovnih para prilikom rezanja i zavarivanja, također izgara i područje u blizini zavara. Još jedan od nedostataka je potreba za besprijeckorno pripremljenom površinom postupkom sačmarenja zato što otapala završnog sloja ne mogu difundirati u međupremaze.

Dvokomponentni premazi su složeni premazi jer su im molekularni lanci tako formirani da se krajnji efekt postiže samo pridržavanjem točno propisanih omjera[3, 6, 8].

### 2.1.2. Cink - silikatni temeljni premaz

Cink - silikatni temeljni premazi su dvokomponentni ili trokomponentni temeljni premazi čiji udio cinkovog praha iznosi 92 – 94 %, ostali udjeli se sastoje od veziva te organskog ili anorganskog silikatnog polimera. Cink - silikatne temeljne premaze na bazi etilsilikatnog veziva odlikuje izuzetna tvrdoća i otpornost na atmosferilije, mehanizam sušenja uz prisutnost vlage iz zraka kao i također temperaturna postojanost do 400 °C. U usporedbi s cink – epoksi premazima imaju bolja mehanička svojstva i svojstva korozijske zaštite. No s druge strane su

osjetljiviji na način nanošenja premaza i kvalitetu pripreme površine. Uslijed skraćanja vremena procesa gradnje broda razvila se treća generacija cink – silikatnih premaza s umanjenim udjelom cinka od 25 do 35 % te su se posljedično smanjili i zahtjevi na trajanje antikorozivne zaštite. Smanjena je neželjena pojava cinkovih soli na zaštićenoj površini čime se otklonila glavna mana cink – silikatnih premaza i otvorio im prostor za korištenje u 90 % današnjih brodogradilišta. Također je razvoj treće generacije rezultirao kvalitetnijim zavarivanjem na visokim brzinama[3, 4, 8].

### **2.1.3. Polivinil butiralni kopolimeri**

Polivinil butiralni kopolimeri se koriste sve manje zbog niske otpornosti na lužine, niske trajnosti premaza te problema s katodnom zaštitom s narinutom strujom. Pigment se sastoji od željeznog oksida s korozivnim inhibitorima, cinkovim fosfatima ili cinkovim kromatima, a baza su fenolni spojevi. Među komponentama samog premaza se također može naći fosforna kiselina. Premaz ima vijek trajanja od 4 mjeseca, a preporučena debljina iznosi 12 do 18  $\mu\text{m}$  i što je najvažnije nema škodljivih utjecaja kod zavarivanja i rezanja[3, 8].

### **2.1.4. Epoksi željezni oksid**

Distribuiraju se kao dvokomponentni epoksi proizvodi crveno – smeđe boje koji se sastoje od pigmentiranih polimera željeznog oksida i ubrzivača, u ovom slučaju to je spoj poliamida. Upravo zbog ovakve boje podloge manji korozijski produkti su teško uočljivi, zbog toga je potrebno prethodno pjeskarenje radi uklanjanja temeljnog premaza kako bi se nanio premazni sustav. Imaju poboljšana adhezijska svojstva u usporedbi s premazima koji sadrže pigmente cinka zbog izostanka higroskopnih cinkovih soli. Rok trajnosti im je od četiri do šest mjeseci, a određena debljina suhog sloja je od 18 do 25  $\mu\text{m}$  i kao kod PVB premaza nema štetnog utjecaja kod zavarivanja i rezanja[3,8].

### **2.1.5. Druga generacija temeljnih premaza na bazi vode**

Sredinom 1990-ih čak i prije predloženog zakona o emisiji otapala u Europi i SAD-u, međunarodna je zajednica za premaze i boje (*eng. International Paint*) bila proaktivna i prepoznala priliku za razvoj temeljnih premaza s niskom stopom hlapljivih organskih spojeva, idealno s nultom stopom, koji bi zadržao izvedbene karakteristike trenutačnih cinkovih silikata koji su u primarnoj upotrebi[9].

Kako bi se udovoljilo propisima o emisijama otapala brodogradilišta imaju dvije mogućnosti[9]:

- a) ulaganje u opremu za smanjenje emisija i nastavak primjene cink – silikatnih temeljnih premaza
- b) prebacivanje na temeljne premaze s niskom razinom hlapljivih organski spojeva, tj. niski VOC (*eng. Volatile organic compounds*).

Oprema za smanjenje emisija predstavlja mjesto gdje se emisije otapala sagorijevaju u postrojenju za termičku oksidaciju. Tipični troškovi ugradnje takve opreme iznose € 500 000 s pripadajućim tekućim troškovima od € 75 000 godišnje i rastu kako troškovi energije rastu. Pored troškova, postupak toplinske oksidacije također proizvodi CO<sub>2</sub> i SO<sub>x</sub>, a oba se pažljivo proučavaju zbog utjecaja na okoliš.

Relativno visoki troškovi ugradnje i rada sustava za smanjenje emisija čine opciju prebacivanja na temeljne premaze s niskom razinom hlapljivih organski spojeva privlačnijom.

Kako bi se udovoljilo zahtjevima potrebnih za rad modernih brodogradilišta, prepoznato je da bi se svaki novi premaz trebao temeljiti na anorganskom vezivu. Istraživan je širok raspon eksperimentalnih premaza koji se temelje na novim anorganskim vezivima te je iz ovog istraživanja razvijen novi temeljni premaz na bazi vode naziva Interplate Zero, koji je 2004. komercijaliziran od strane International Paint organizacije.

Interplate Zero je dvokomponentni proizvod. Komponenta broj 1 se sastoji od aluminijevog oksida modificiranog pomoću silikatnog veziva, zajedno s ostalim aditivima, dok je komponenta 2 suha mješavina cinka i drugih pigmenata za poboljšanje svojstava kao što su trajnost. Silikatna veziva imaju puno veći molarni omjer SiO<sub>2</sub> : Na<sub>2</sub>O (obično ≥ 40: 1) nego konvencionalna alkalijsko silikatna veziva i stoga premazi koji se temelje na silikatima nisu podložni osmotskim mjehurićima. Upotrebom silikata male veličine čestica (≤ 20 nm) poboljšavaju se svojstva premaza, a modifikacija aluminijevog oksida povećava vijek trajanja zamiješanog temeljnog premaza[9]. U tablici 3 može se vidjeti usporedba svojstava temeljnih premaza baziranih na vodi s cink – silikatima.

**Tablica 3. Usporedba svojstava temeljnih premaza baziranih na vodi s cink – silikatima[9]**

TIP PREMAZA	VOC, g/lit	Vijek trajanja	Zavarljivost	Mogućnost rezanja	Temperaturna otpornost
Cinketilni – silikat	609	18	Dobra	Dobra	N/A
Zavarljivi i temp. otporan cink - silikat	628	6	Izvrсна	Odlična	Odlična
Velike brzine zavarivanja i temp. otporan cink - silikat	636	> 12	Vrlo dobra	Odlična	Odlična
Interplate zero	0	> 6	Vrlo dobra	Odlična	Odlična

## 2.2. Priprema površine

Tehnološki postupak pripreme površine vrši se uništavanjem metalne površine mlazom zraka pod visokim tlakom i abrazivnim pijeskom ili sačmarenjem prema normi ISO 8501. Standardi za pripremu površine uključuju nekoliko kriterija, pravila i smjernica za postupak pripreme metalnih površina trupa[10].

Stanja površine čeličnih konstrukcija podijeljena su u četiri faze[10]:

- čelične površine prekrivene okujinama i s umanjenom prisutnošću korozije
- čelične površine koje su počele korodirati i s kojih su se ukojine počele ljuštiti
- površina čelika s vidljivim česticama hrđe
- površina čelika koja je vidljivo nagrižena i zahvaćena rupičastom korozijom.

Postupak pripreme metalnih površina se provodi pomoću abraziva. Abrazivi su različite vrste materijala pogodne za određenu pripremu površine, gdje se abrazivne čestice pomoću komprimiranog zraka nanose na površinu koja se čisti.

Kvaliteta pripreme čeličnih površina pokazuje se sljedećim razinama ISO 8501 [10]:

- Sa 2: temeljito čišćenje. Površina mora biti čista, bez tragova ulja, masti ili prljavštine vidljive golim okom i gotovo u potpunosti bez hrđe, stare boje i prljavštine
- Sa 2.5: vrlo temeljito čišćenje. Površina mora biti čista, bez vidljivih tragova ulja, masti i prljavštine, te gotovo u potpunosti bez okujina, hrđe, premaza i ostalih nečistoća, tako da se preostali tragovi mogu činiti kao blage mrlje ili sjene
- Sa 3: pjeskarenjem, sve se nečistoće uklanjaju sa čelika. Površina mora biti čista, bez vidljivih tragova ulja, masti ili prljavštine i potpuno bez okujina, hrđe, slojeva boje i ostalih nečistoća. Površina mora imati jednolik metalni izgled
- St 3: ručno uklanjanje hrđe ili mehaničkim alatima za čišćenje. Golim okom se treba moći vidjeti (bez upotrebe povećala) površina bez tragova ulja, masti i prljavštine, bez daljnjih ostataka okujina, hrđe, slojeva boje i ostalih onečišćenja, tako da pokazuje blagometalni sjaj.

Abrazivi koji se koriste za čišćenje metalnih površina mogu se podijeliti u dvije glavne skupine: metalni i mineralni abrazivi. Osnovne karakteristike abraziva su tvrdoća, veličina i oblik. Za ručno uklanjanje hrđe koriste se sljedeći alati za čišćenje: strugalica, čekić za uklanjanje hrđe, pištolj opremljen iglom, čelična četka (ručno ili mehanički pokretana) i brusne ploče za brušenje. Za ručno čišćenje, u pravilu, treba postići stupanj pripreme površine St 3[10]. Na slici 2 je prikazano automatizirano sačmarenje čeličnih ploča, a na slici broj 3 ručno.



**Slika 2.** Sačmarenje pomoću automatiziranog stroja u brodogradnoj industriji[11]



**Slika 3. Ručno sačmarenje u brodograđevnoj industriji[12]**

### **2.3. Problematika zavarivanja preko temeljnih premaza**

Zavarljivost temeljnih premaza je mjerena time koliko on zapravo utječe na primijenjeni postupak zavarivanja. Postoje mnoge tehnike zavarivanja, kao što su ručno, poluautomatsko, elektrolučno zavarivanje pod praškom itd., a postoje i mnoge vrste dodatnog materijala za zavarivanje, kao što su žica punjena metalnim prahom i praškom punjena žica. Čeličnu ploču obloženu organskim temeljnim premazom teško je zavarivati bez skidanja samog premaza. Kada se organski materijal zagrije dolazi do njegovog razgrađivanja i stvaraju se plinovi koji ostaju zarobljeni u rastaljenom metalu zavara uzrokujući greške u zavaru. Tu se vidi od kolike je važnosti pravilan izbor temeljnog premaza. Također ima i veliki utjecaj na brzinu zavarivanja i rezanja, nadalje premaz može uzrokovati nepredviđene dodatne troškove u proizvodnji. Što je deblji sloj nanesenog temeljnog premaza to su bolja antikorozivna svojstva, ali s druge strane dolazi do problema kod sušenja. Nastaje negativni utjecaj na čvrstoću i kvalitetu zavara i zavarljivost samog materijala. U toku zavarivanja i rezanja također dolazi do porasta oslobađanja para i dimova. Stoga je u praksi od velike važnosti postići dogovor između potrebnih odnosa antikorozivnosti i zavarljivosti ovisno o samoj primjeni krajnjeg proizvoda. Jedan od bitnijih faktora je također sam položaj zavarivanja, u vodoravnom položaju je moguće povećati brzinu zavarivanja bez rizika od pojave poroznosti, a također se i povećava produktivnost. Dok kod vertikalnih položaja nastaje veća poroznost zbog otežanog izlaska plinova iz rastaljenog metala što je uzrokovano uzgonom[3,4,9].

Neke od grešaka zavara koje se mogu pojaviti su[9]:

- plinski mjehurići
- izduženi plinski uključak
- krhkost.

Anorganski premazi, kao što su cinkovi - silikati, lakše se zavaruju pri brzinama koje se uobičajeno koriste u brodogradnji i također razvijaju manje plinova tijekom procesa[9].

Na slici 4 je prikazan utjecaj debljine sloja temeljnog premaza na poroznost zavara. Može se vidjeti koliko veliki utjecaj na poroznost ima povećanje debljine sloja od 5  $\mu\text{m}$  uzrokovajući skoro pa i 4 puta veću poroznost.



Slika 4. Ovisnost poroznosti metala zavara o debljini sloja temeljnog premaza[3]



### 3. PRIMJENA TEMELJNIH PREMAZA U INDUSTRIJSKOJ PRAKSI

Iako je primarno područje primjene temeljnih premaza u brodograđevnoj industriji i dalje postoji potražnja za njima i u manjim čeličanicama. One postavljaju dosta jednostavne zahtjeve kao što su jednostavna primjena (aplikacija), dobra antikorozivna zaštita, brzo rukovanje i tijek procesa bez većih problema. Dobra svojstva primjene mogu povećati brzinu proizvodnje i smanjiti dodatne troškove. Produktivnost se povećava, među ostalim čimbenicima, dobrim automatiziranim nanošenjem premaza sa sprejom, pravilnom formacijom premaza bez nedostataka, brzim sušenjem, dugim vijekom trajanja i kompatibilnošću sa standardnom opremom za primjenu premaza. Na kraju treba uzeti u obzir da današnje moderne čeličane proizvode čelične ploče u skladu sa zahtjevima krajnjeg korisnika. Uvjeti koji se postavljaju u brodograđevnoj industriji su dosta različiti od onih koji su prisutni u industrijskom području koje se nalazi na kopnu. Stoga je logično da su zahtjevi u brodograđevnoj industriji vezani uz zavarivanje i rezanje puno viši. No i u ovom slučaju postoje iznimke gdje postupci poput laserskog rezanja ili laserskog zavarivanja zahtijevaju specijalno znanje i svojstva proizvoda. Jedno od sličnosti s brodograđevnom industrijom je važnost smanjenja VOC – a ( hlapljivih organskih spojeva) zbog sve veće važnosti koja se pridaje očuvanju okoliša i strogim regulativama[13].

#### 3.1. Primjena temeljnih premaza u brodograđevnoj industriji

U procesu gradnje broda i njegovog operativnog razdoblja, brod je izložen raznim kemijskim utjecajima okoliša koji uzrokuju različite korozijske štete. Teška materijalna šteta uzrokovana korozijom može utjecati i na sigurnost i na cjelokupan životni vijek broda. Da bi se usporio ili eliminirao proces korozije na brodovima, moraju se zaštititi raznim mjerama i tehnološkim postupcima[10].

U tu svrhu koriste se temeljni premazi od cinkovog silikata i epoksi željeznog oksida. Epoksi željezni oksid nanosi se radi dobivanja veće debljine, zahtijevajući više boje, što rezultira većim slojevima i povećanim gubicima. Stoga se danas u većini brodogradilišta cinkov silikat koristi kao temeljni premaz koji je potpuno kompatibilan s postupkom izgradnje broda (s udjelom od 25 -35 % cinka), što omogućuje kvalitetnije zavarivanje i smanjenu pojavu neželjenih soli cinka (spoj koji se teško topi u vodi i teško se čisti s površine )[9, 10].

Iako je u današnje vrijeme brodograđevna industrija pod velikim pritiskom kako bi smanjila emisije hlapljivih organskih spojeva upotreba cinkovog silikata je očito i dalje učestala. Tu nastaje problem jer organski temeljni premazi mogu sadržavati veliku količinu navedenih spojeva, otprilike 650 g/l, koji su se kroz povijest konstantno otpuštali u atmosferu.

Brodogradilišta diljem svijeta imaju različite zahtjeve za kontrolu korozije jer se nalaze u različitim klimatskim uvjetima i usvajaju različite cikluse gradnje.

Većina brodogradilišta sada koristi temeljne premaze kako bi zaštitili čelik kroz postupak izrade sve do spajanja blokovima. Blokovi se premazuju punim antikorozivnim sustavom. Stupanj sekundarne pripreme površine prije premazivanja blokova ovisi o mnogim čimbenicima uključujući specifikaciju vlasnika, standardnu praksu gradilišta, stanje čelika s temeljnim premazom i očekivanja od performansi gotovog sustava.

Temeljni premazi ne smiju značajno ometati uobičajene brodograđevne postupke niti usporavati produktivnost. Minimalna sekundarna priprema površine, održavanje brzine zavarivanja i održavanje karakteristika rezanja preduvjeti su dobrog, za korisnika prilagođenog, temeljnog premaza[9]. Na slikama 5 i 6 su prikazani primjeri ručnog i automatiziranog nanošenja u brodograđevnoj industriji.

Kako bi se upotrijebio u brodograđevnoj industriji temeljni premaz mora zadovoljavati sljedeće uvjete[10]:

- mora biti prikladan za automatizirane postupke bojenja
- imati najkraće vrijeme sušenja (3 do 5 minuta)
- otpornost na visoke temperature
- ne smije ispuštati otrovne plinove tijekom zavarivanja i rezanja
- ne smije negativno utjecati na postupak zavarivanja
- kompatibilnost s drugim sustavima premaza
- ne smije utjecati na mehanička svojstva zavarenih spojeva.



**Slika 5. Ručno nanošenje cink – epoksi temeljnog premaza u brodograđevnoj industriji[14]**



**Slika 6. Automatizirano nanošenje temeljnog premaza[15]**

Izgled tipičnog pakiranja temeljnog premaza koji bi se mogao koristiti u brodogradnji je prikazan na slici 7. Radi se o Hempel's Galvosil 15700 temeljnom premazu koji je na bazi otapala, samoskrćujući, anorganski silikatni temeljni premaz bogat cinkom, koji ima izuzetnu otpornost na vremenske uvjete i abraziju te nudi izvrsnu galvansku zaštitu od lokalnih mehaničkih oštećenja. Ima izvrsnu kemijsku otpornost unutar pH vrijednosti 6-9. Preporučuje se kao temeljni premaz za zaštitu od hrđe u teškim uvjetima rada, za novogradnju i održavanje. Pogodno za konstrukcijski čelik i cijevi. Preporučuje se za široki raspon okruženja od korozivne atmosfere do ekstremnog okruženja (*npr. eng. offshore*). Može se koristiti kao zaseban,

kompletan premaz za dugoročnu zaštitu čelika izloženog umjereno do jako korozivnom okolišu i abraziji[16].

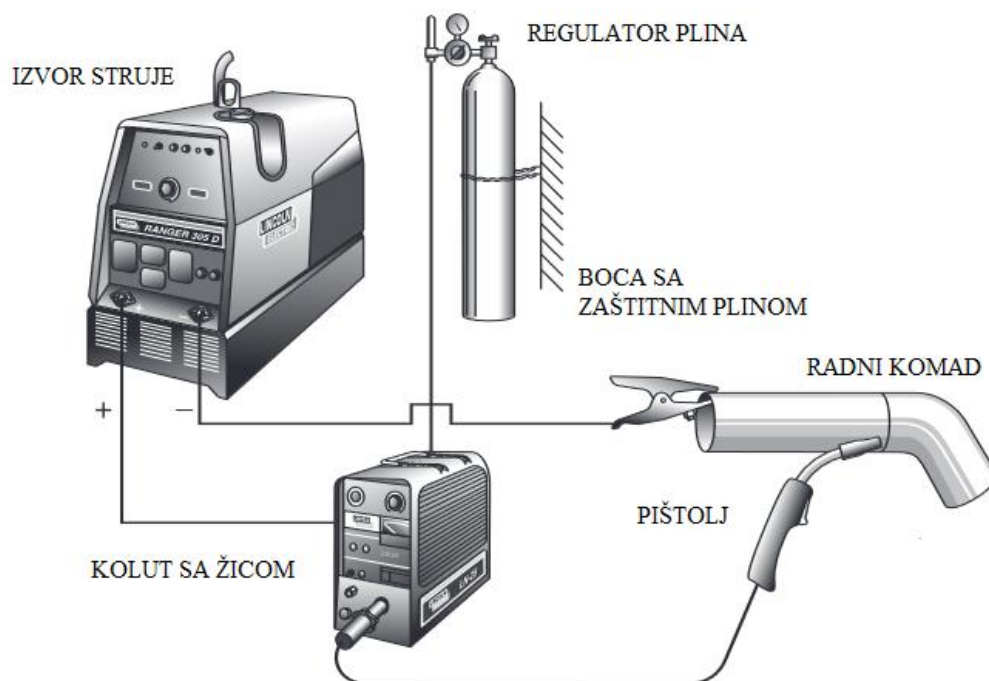


**Slika 7. Hempel's Galvosil 15700 temeljni premaz[17]**

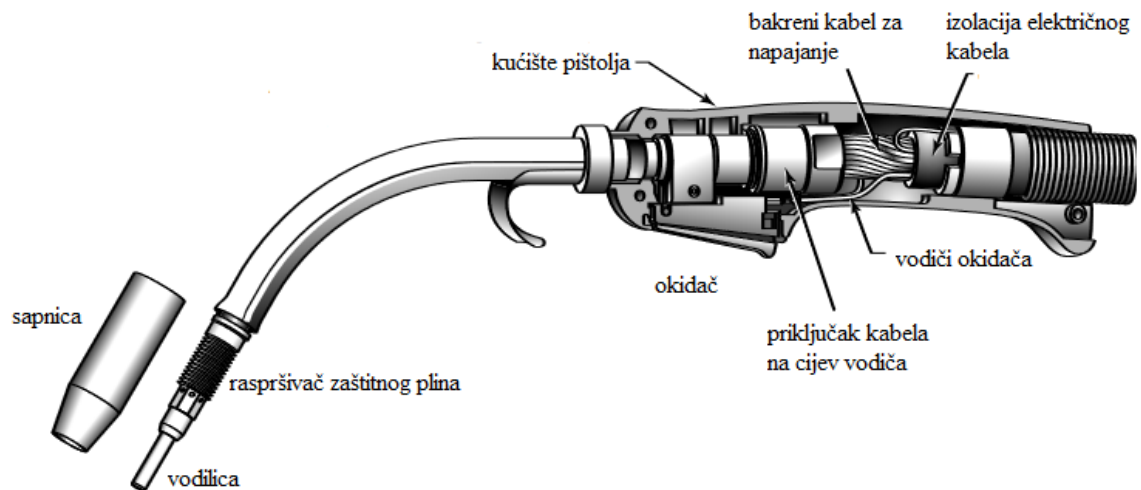
#### 4. MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA

MAG postupak zavarivanja je postupak elektrolučnog zavarivanja u zaštitnoj atmosferi aktivnog (MAG – Metal Active Gas) plina. Električni luk se ostvaruje između radnog komada i taljive, kontinuirane elektrode. Prvi put je korišten u SAD-u sredinom 1940-ih. Od tih ranih dana proces je našao primjenu u širokom spektru industrija od automobilske proizvodnje do cjevovoda diljem zemalja. To je elektrolučni postupak zavarivanja koji koristi neprekidno napajanu žicu i kao elektrodu i kao dodatni materijal, luk i talina zavara zaštićeni su štitom aktivnog plina. Nudi prednosti velikih brzina zavarivanja, manjih zona utjecaja topline (ZUT) nego TIG (*eng. Tungsten Inert Gas*) zavarivanje i izvrsno uklanjanje oksidnog filma tijekom zavarivanja[18].

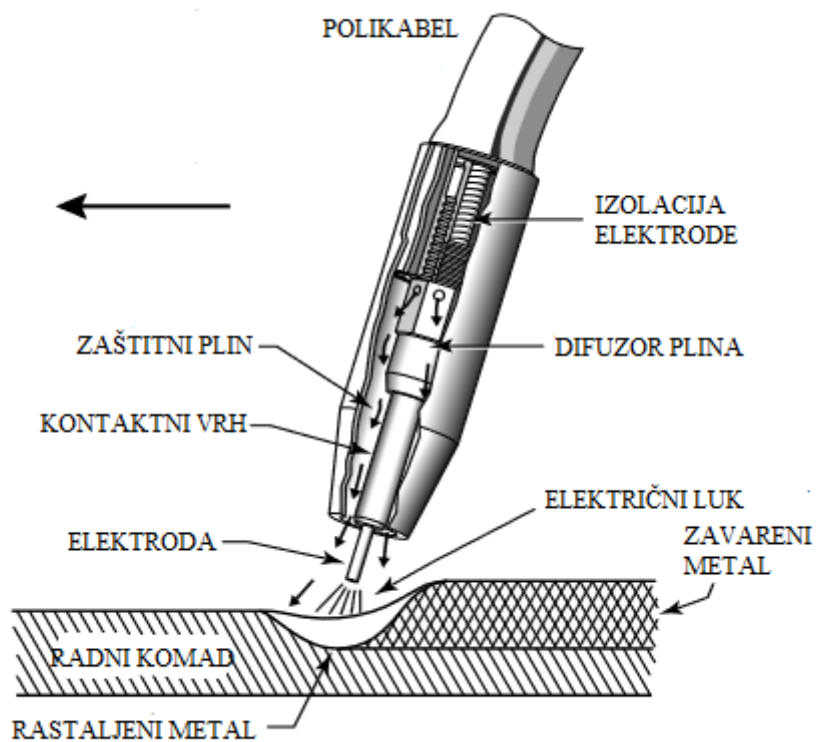
Ovaj postupak elektrolučnog zavarivanja je primarno namijenjen zavarivanju materijala aluminijskih i njegovih legura i ostalih obojenih materijala. Postupak se prije svega razvio zbog veće količine rastaljenog metala u jedinici vremena te jednostavnog rukovanja ili automatizacije zbog čega je danas u zavarivačkoj industriji jedan od najčešće korištenih postupaka[19]. Na slikama 8, 9 i 10 je prikazana sva potrebna oprema i postupak za MAG zavarivanje.



Slika 8. Shematski prikaz potrebne opreme za MAG zavarivanje[20]

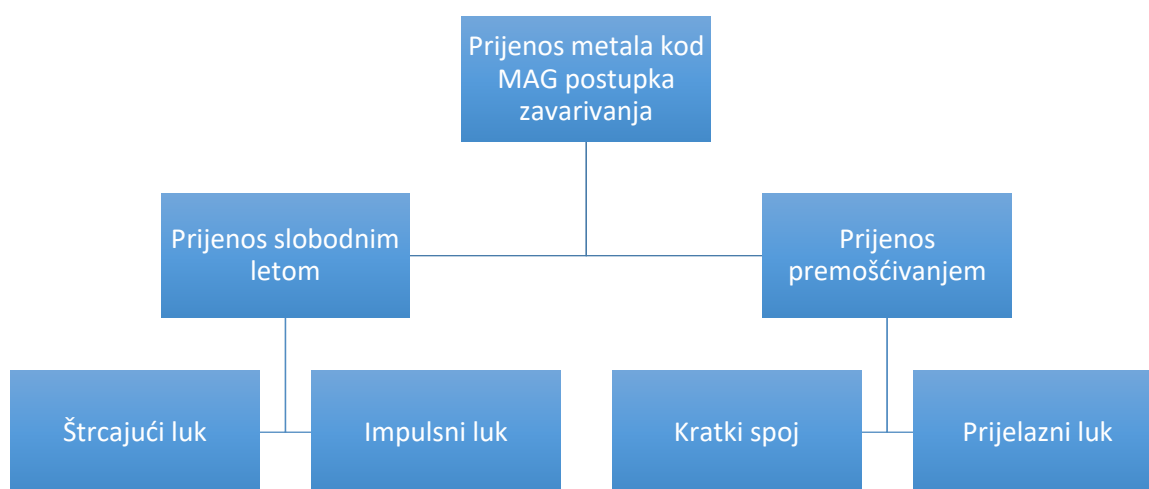


Slika 9. Pištolj za zavarivanje pomoću MAG postupka[20]



Slika 10. Proces taljenja metala tijekom MAG postupka[20]

Električni luk se uspostavlja između radnog komada i taljive, kontinuirane elektrode u obliku žice koja je uobičajeno spojena na plus (+) pol istosmjernog izvora struje za zavarivanje. Postupak se odvija u zaštitnoj atmosferi plinova koju osigurava aktivni plin CO<sub>2</sub> i plinske mješavine kao što su na primjer 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>. Transfer metala se odvija mehanizmom prijenosa rastaljene kapljice s vrha elektrode slobodnim letom kroz električni luk na radni komad ili pak rastaljena metalna kapljica dođe u fizički kontakt s radnim komadom (osnovnim materijalom) te nastane kratki spoj[21]. Podjela mehanizama prijenosa metala kod MAG postupka zavarivanja može se vidjeti na slici 11.



**Slika 11. Mehanizmi prijenosa metala kod MAG postupka[21]**

#### 4.1. Prednosti MAG postupka zavarivanja

MAG postupak je u širokoj upotrebi zbog svoje sposobnosti pružanja visokokvalitetnih zavarenih spojeva za široku paletu željeznih i obojenih legura po niskoj cijeni[20].

MAG postupak ima sljedeće prednosti[20]:

- sposobnost spajanja širokog spektra vrsta i debljina materijala
- jednostavne komponente opreme lako su dostupne i pristupačne
- MAG ima veću učinkovitost elektroda, obično između 93% i 98%, u usporedbi s drugim postupcima zavarivanja
- veća učinkovitost zavarivača u usporedbi s drugim postupcima elektrolučnog zavarivanja

- MAG je lako prilagodljiv za robotsku automatizaciju i poluautomatske primjene
- mogućnost zavarivanja u svim položajima
- izvrsni izgled zavara
- manji udio vodika u zavaru - obično manje od 5 ml / 100 g zavara metala
- manji unos topline u usporedbi s drugim postupcima zavarivanja
- minimum rasprskavanja i troske omogućuje brzo i jednostavno čišćenje zavara
- manje isparavanja kod zavarivanja u usporedbi s postupcima ručnog elektro-lučnog zavarivanja (REL) i zavarivanja praškom punjenom žicom, FCAW (*eng. Flux Cored Arc Welding*).

#### 4.2. Nedostatci MAG postupka zavarivanja

Neki od važnijih nedostataka MAG postupka zavarivanja su[20]:

- niži unos topline kod mehanizma prijenosa metala kratkim spojem ograničava njegovu upotrebu na tanke materijale
- prijelazni luk s većim unosom topline općenito ga ograničava na deblje radne komade
- prijelazni luk s većim unosom topline ograničen je na ravni ili vodoravni položaj zavarivanja
- upotreba zaštitnog plina na osnovi argona za prijelazni luk i impulsni načini prijenosa poskupljuje postupak u odnosu na upotrebu zaštitnog plina s 100 % CO<sub>2</sub>.

#### 4.3. Zaštitni plinovi

Odabir ispravnog zaštitnog plina za određenu primjenu je presudan za kvalitetu zavarenog spoja. Kriteriji koji služe za odabir zaštitnog plina su sljedeći[20]:

- legura elektrode
- željena mehanička svojstva metala zavara
- debljina materijala i konstrukcija spojeva
- stanje materijala - prisutnost okujina, korozija, zaštitni premazi ili ulje
- način prijenosa metala
- položaj zavarivanja
- željeni konačni izgled zavara.



Pod toplinom luka zaštitni plinovi reagiraju na različite načine. Protok struje u luku i njegova veličina imaju značajan utjecaj na ponašanje rastaljene kapljice. U nekim slučajevima, dati zaštitni plin optimalno će se ponašati pri jednom načinu prijenosa, ali neće moći zadovoljiti potrebe drugog načina prijenosa[20].

Tri su osnovna kriterija korisna za razumijevanje svojstava zaštitnog plina[20]:

- potencijal ionizacije plinskih komponenata
- toplinska vodljivost komponenata zaštitnog plina
- kemijska reaktivnost zaštitnog plina s rastaljenim zavarem.

#### **4.3.1. Reaktivni zaštitni plinovi**

Kisik, vodik, dušik i ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ) jesu reaktivni plinovi. Reaktivni plinovi kemijski se kombiniraju sa zavarenim područjem za postizanje željenog učinka.

Ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ) inertan je na sobnoj temperaturi. U prisutnost plazme luka i rastaljenog metala zavara je reaktivan. U visokoj energiji luka molekula  $\text{CO}_2$  raspada se u procesu poznatom kao disocijacija. U ovome procesu, oslobađa se ugljik, ugljični monoksid i kisik iz molekule  $\text{CO}_2$ . To se događa na anodnom području DC (*eng. Direct Current*) + luka. Na DC - katodnom području, koje je uvijek radni komad pri MAG zavarivanju, oslobođeni elementi  $\text{CO}_2$  molekule prolaze kroz proces rekombinacije. Tijekom rekombinacije postoje viši nivoi energije i oni su odgovorni za dublju penetraciju koja karakterizira upotrebu ugljičnog dioksida.

Tijekom procesa disocijacije slobodni elementi  $\text{CO}_2$  molekule (ugljik, ugljični monoksid i kisik) pomiješaju se s rastaljenim metalom zavara ili se rekombiniraju na hladnijem području katode te nanovo formiraju ugljični dioksid. Slobodni kisik kemijski se kombinira sa silicijem, manganom i željezom tvoreći okside silicija, mangana i željeza. Stvoreni oksidi plutaju na površini rastaljenog metala, a zatim se skrućuju u tzv. otoke na površini gotovog zavara. Više razine ugljikovog dioksida u mješavini plina (veći oksidacijski potencijal) povećavaju količinu troske nastale na površini zavara. Niže razine ugljikovog dioksida (niži oksidacijski potencijal) pak povećavaju količinu silicija i mangana zadržanog u zavarenom spoju.

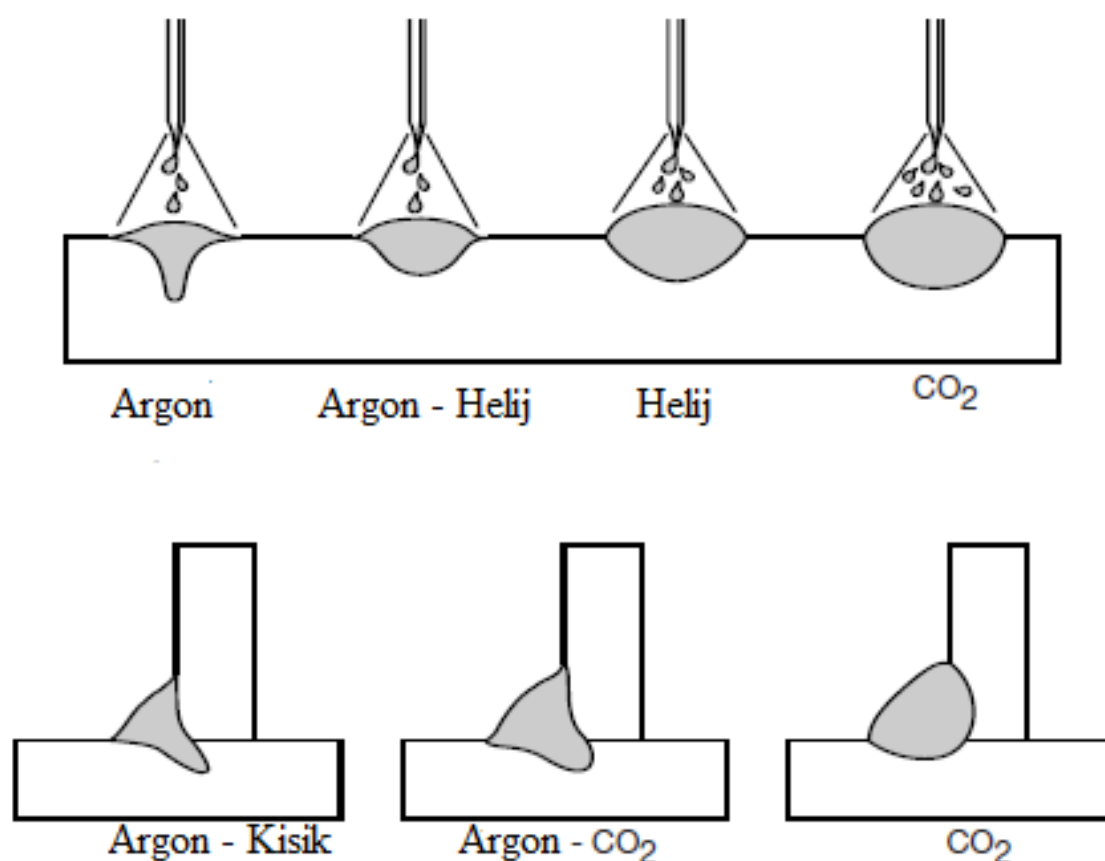
Kisik ( $\text{O}_2$ ) je oksidans koji reagira s komponentama u zavaru za stvaranje oksida. U malim dodacima (1-5%), s ravnotežom argona, pruža dobru stabilnost luka i izvrsnu izgled zavara. Silicij i mangan kombiniraju se s kisikom i stvaraju okside. Oksidi odlaze na površinu zavara te nastaju mali „otoci“.

Vodik ( $H_2$ ) u malim postocima (1-5%) dodaje se argonu za zaštitu nehrđajućeg čelika i legura nikla. Ima značajno veću toplinsku vodljivost što povećava brzinu prijenosa kapljice.

Najčešće se koriste mješavine dvokomponentnih plinova koje se koriste kod MAG zavarivanja. Sva četiri tradicionalna načina prijenosa metala kod MAG postupka koriste dvokomponentne mješavine plinova argon /  $CO_2$ . Također se koriste kod impulsnog MAG zavarivanja nehrđajućeg čelika gdje udio  $CO_2$  ne prelazi 4%. Prijenos prijelaznim lukom zahtjeva sadržaj  $CO_2$  manji od 18%. Kombinacije argon /  $CO_2$  poželjne su tamo gdje su okujine neizbježne. Kako se povećava postotak  $CO_2$ , tako se povećava i tendencija povećanja unosa topline i rizika od prevelikog provara.

Prijenos kratkim spojevima je način prijenosa metala s malim unosima topline. Optimalno, ovaj način prijenosa ima koristi od  $CO_2$  gdje je udio veći od ili jednak 20% [20].

Na slici 12 može se vidjeti utjecaj zaštitnog plina na geometriju zavora.



Slika 12. Utjecaj zaštitnog plina na geometriju i penetraciju zavora[20]

U tablicama 4 i 5 mogu se vidjeti tipični zaštitni plinovi i njihova svojstva, za one plinove koji se upotrebljavaju pri prijenosu kratkim spojem i prijelaznim lukom.

**Tablica 4. Zaštitni plinovi kod prijenosa metala kratkim spojem[20]**

ZAŠTITNI PLIN	SVOJSTVA
75 % Ar + 25 % CO <sub>2</sub>	Smanjuje rasprskavanje i poboljšava izgled zavara kod ugljičnog čelika
80 % Ar + 20 % CO <sub>2</sub>	

**Tablica 5. Zaštitni plinovi kod prijenosa metala prijelaznim lukom[20]**

ZAŠTITNI PLIN	SVOJSTVA
98 % Ar + 2 % CO <sub>2</sub>	Za prijelazni ili impulsni luk s nehrđajućim čeličnim elektrodama i elektrode od ugljičnog čelika. Izvrsna fluidnost taline zavara i brzina zavarivanja ( <i>eng. fast travel speeds</i> ).
95 % Ar + 5 % CO <sub>2</sub>	Za impulsni prijenos kod elektroda od ugljičnog čelika. Dodatak od 5% pruža veću fluidnost taline zavara te se upotrebljava kod zahtjevnijih postupaka zavarivanja.
92 % Ar + 8 % CO <sub>2</sub>	I za prijelazni i impulsni način prijenosa metala kod elektroda od ugljikovog čelika. Veći unos topline kod prijelaznog luka.
90 % Ar + 10 % CO <sub>2</sub>	Šira no manja penetracija.
85 % Ar + 15 % CO <sub>2</sub>	Smanjuje količinu okujina.
82 % Ar + 18 % CO <sub>2</sub>	Kod prijenosa metala prijelaznim lukom, popularan u Europi. Široki luk poboljšava penetraciju, također se upotrebljava i kod prijenosa kratkim spojem.

#### 4.4. Prijenos metala kratkim spojevima

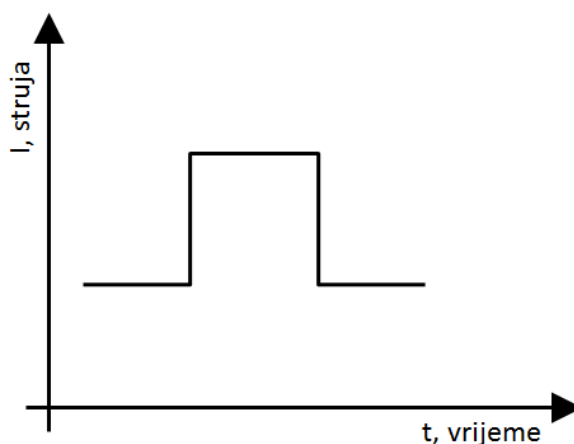
Koristi oznaku GMAW – S (*eng. Short Circuit Gas Metal Arc Welding*), postupak gdje kontinuirano dobavljena žica, koja može biti puna ili praškom punjena, stvara metal zavara kao posljedicu uspostavljenih kontinuiranih kratkih spojeva. Ono što ga izdvaja od ostalih postupaka prijenosa metala jest najmanji unos topline u radni komad. Svaki prijenos metala kod ovog postupka se pojavljuje kada žica dođe u fizički kontakt sa radnim komadom ili već nastalim metalom zavara (bilo u krutom ili rastaljenom stanju), a sam postupak prijenosa najviše ovisi o vrsti zaštitnog plina, promjeru žice (dodatnog materijala), te osnovnim parametrima zavarivanja, a događa se između 20 i 200 puta u sekundi[21].

Promjeri elektroda se kreću od 0,6 do 1,2 mm. Izbor zaštitnih plinova uključuje 100 % CO<sub>2</sub> i dvokomponentne mješavine Ar + CO<sub>2</sub> ili Ar + O<sub>2</sub>. Zbog smanjenog unosa topline upotrebljava se kod materijala manjih debljina koje rangiraju od 0,6 do 5 mm[20].

Na slikama 13 i 14 mogu se vidjeti detalji prijenosa kratkim spojem.



Slika 13. Shematski prikaz prijenosa kratkim spojem[21]



Slika 14. Promjena struje u jedinici vremena za prijenos kratkim spojem [21]

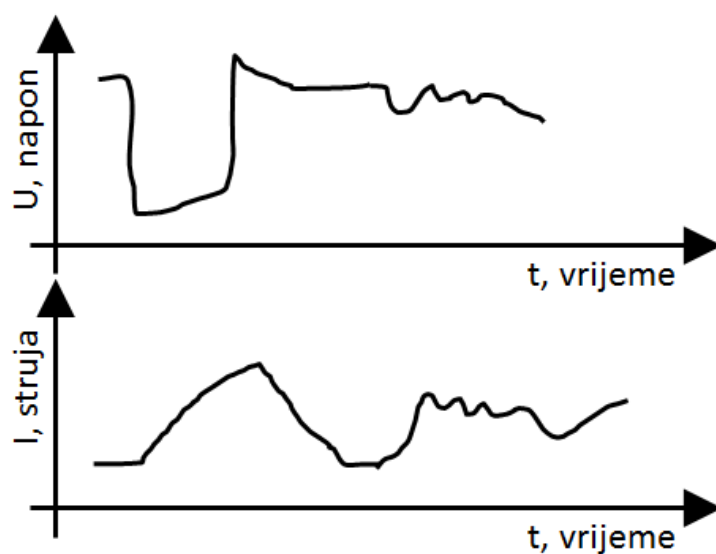
#### 4.5. Prijenos metala prijelaznim lukom

Uobičajeno se odvija uz upotrebu zaštitnog plina  $\text{CO}_2$  ili plinskih mješavina sa značajnim udjelom istog. Postupak prijenosa metala kod kojeg dolazi do prijenosa metala kratkim spojem i štrcajućim lukom, a redoslijed i izmjena mehanizama prijenosa je slučajna pojava. Mehanizam prijenosa metala štrcajućim lukom u ovom slučaju je posljedica gravitacijskih sila. Nedostatak ovog prijenosa je njegova nedosljednost koja se najčešće odlikuje većim razlikama u promjeru odvojenih kapljica koje u konačnici definiraju geometriju zavarenog spoja, što je uglavnom posljedica povećanog unosa topline. Između ostalog rasprskavanje je znatno uvećano, a prijenos kapljica nije aksijalan[21].

Na slikama 15 i 16 su prikazani detalji postupka prijenosa prijelaznim lukom.



Slika 15. Shematski prikaz za prijelazni luk[21]



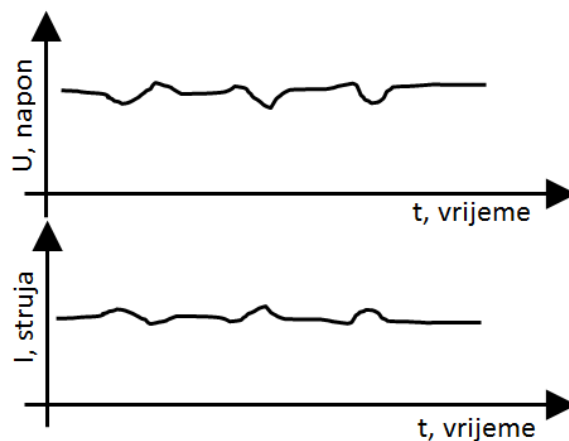
Slika 16. Promjena struje i napona u jedinici vremena za prijelazni luk[21]

#### 4.6. Prijenos metala štrcajućim lukom

Prijenos rastaljene kapljice s vrha elektrode slobodnim padom kroz atmosferu električnog luka. Ovaj tip prijenosa metala osigurava veća količina energije koju je potrebno dovesti u sam proces zavarivanja. Pod time se podrazumijeva povećanje jakosti struje koja će u konačnici dati veće zagrijavanje i povećanje "pinch-efekta", odnosno smanjenje sila koje nepovoljno djeluju na odvajanje rastaljenih kapljica (reaktivne sile, sile površinske napetosti). Jedan od uvjeta za prijenos metala štrcajućim lukom je i primjena plinskih mješavina kod kojih je maksimalna koncentracija aktivnih plinova 18%, a često se primjenjuju i mješavine s malim postocima drugih plinova radi utjecaja na geometriju zavarenog spoja (npr. kisik utječe na dubinu penetracije, penetracija je uža i dublja, dok upotreba  $\text{CO}_2$  daje blažu i zaobljeniju penetraciju)[21]. Koristi se kod širokog spektra materijala kao što su aluminij, magnezij, ugljični čelici, nehrđajući čelici te kod legura nikla i bakra[20]. Na slikama 17 i 18 može se vidjeti shematski prikaz postupka i njegova promjena struje i napona u jedinici vremena.



Slika 17. Shematski prikaz prijenosa štrcajućim lukom[21]



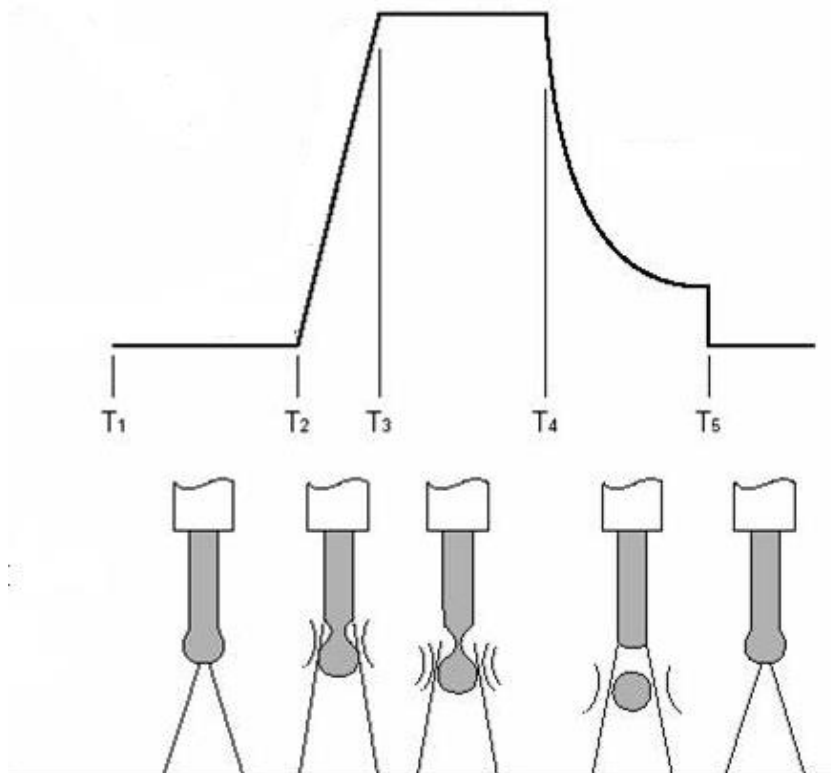
Slika 18. Promjena struje i napona u jedinici vremena za štrcajući luk[21]

#### 4.7. Impulsno zavarivanje

Koristi oznaku GMAW – P (*eng. Pulsed Gas Metal Arc Welding*), tip prijenosa metala štrcajućim lukom kod kojeg je iznos prosječne struje zavarivanja manji od minimalne vrijednosti struje koja omogućuje prijenos metala štrcajućim lukom. To je osigurano promjenom iznosa struje zavarivanja između dviju vrijednosti – osnovne i vršne. Osnovna vrijednost struje zavarivanja je minimalna vrijednost koja je potrebna za održavanje električnog luka, dok je vršna vrijednost struje (struja impulsa) ona vrijednost koja omogućuje prijenos metala bez uspostave kratkog spoja (prijenos metala štrcajućim lukom), tj. struja zavarivanja koja je dovoljna da rastali dodatni materijal (žicu). U idealnom slučaju, vremenski interval trajanja vršne struje je minimalno vrijeme potrebno za formiranje i odvajanje jedne kapljice rastaljenog materijala po impulsu[21].

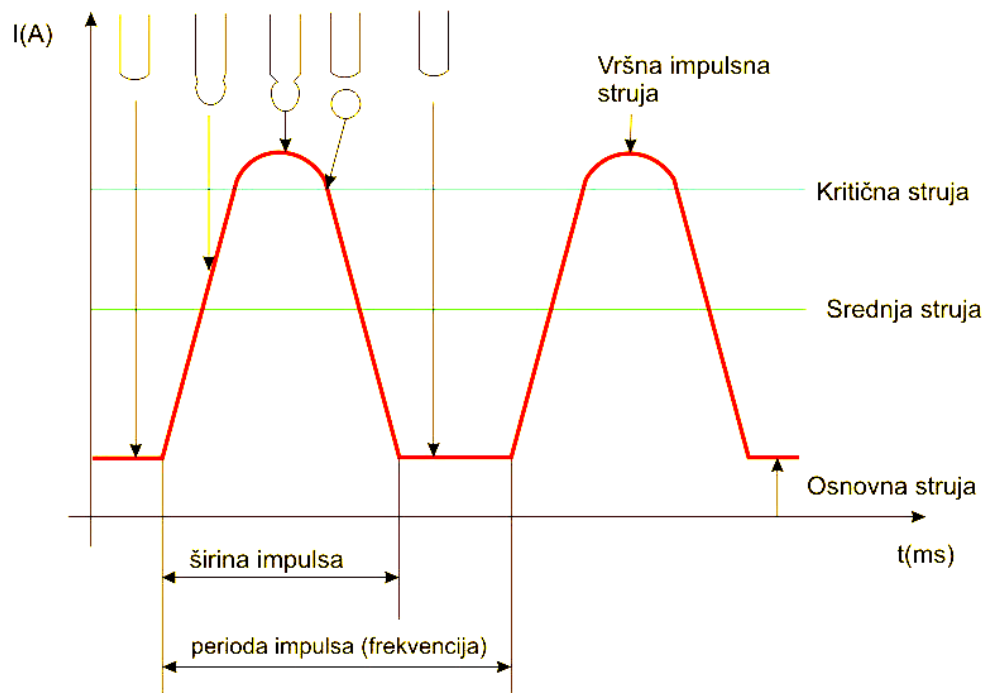
Promjeri elektroda rangiraju od 0,8 do 1,6 mm, a ako se radi onima punjenim praškom od 1,1 do 2 mm. Koristi se dvokomponentni zaštitni plin kao mješavina argona i ugljikovog dioksida čiji udio ne smije prijeći 18 % [20].

Na slici 19 je prikazan shematski prikaz prijenosa impulsnim zavarivanjem.



Slika 19. Shematski prikaz prijenosa impulsnim zavarivanjem[23]

Na slici 20 je grafički prikaz odvajanja kapljice.



Slika 20. Grafički prikaz odvajanja kapljice kod impulsnog zavarivanja[24]



## 5. ZAVARIVANJE PRAŠKOM PUNJENOM ŽICOM (FCAW)

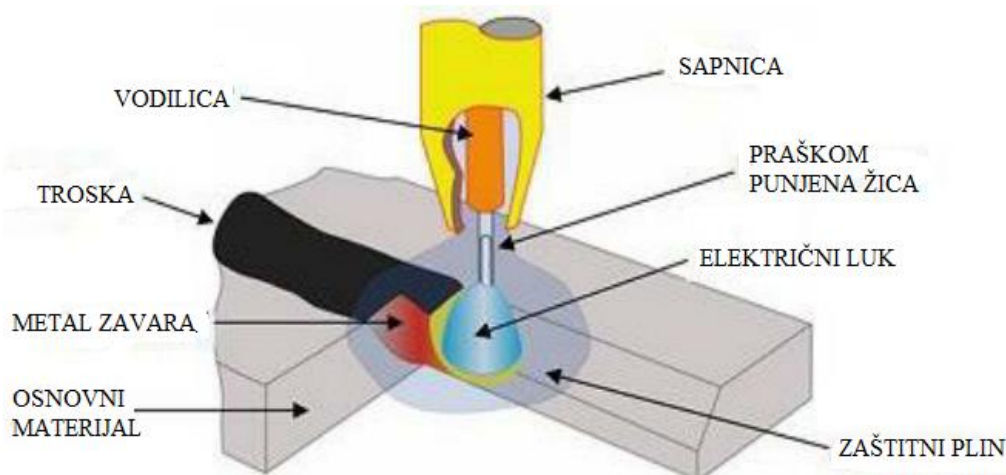
Procesi FCAW (*eng. Flux Cored Arc Welding*) uključuju upotrebu kontinuirane elektrode u obliku žice koja se konstantno dovodi automatskim postupkom i istu opremu koja se koristi u slučaju MAG zavarivanja. Elektrolučno zavarivanje praškom punjenom žicom događa se sa ili bez zaštitnog plina i puno je produktivnije i ekonomičnije od MAG zavarivanja.

FCAW koristi toplinu koju stvara električni luk za taljenje osnovnog metala u području zavarenog spoja. Upotrebljava se šuplja ili cjevasta elektroda ispunjena smjesom praška koja štiti talinu zavara stvaranjem plina.

Zahvaljujući dobrim svojstvima penetracije i stvaranja depozita, FCAW postupak nalazi svoju široku primjenu u zavarivanju na otvorenom ili zavarivanju kontaminiranih materijala.

Korištenje FCAW postupka rezultira stvaranjem troske. Nakon zavarivanja potrebno je ukloniti trosku pomoću metalne četke kako bi se dobio čisti izgled zavara[25].

Na slici 21 je prikazan shematski prikaz FCAW postupka zavarivanja.



Slika 21. Shematski prikaz FCAW postupka zavarivanja[26]

Elektrode su upravo one koje čine glavnu razliku između FCAW i MAG postupaka zavarivanja. Dok MAG koristi žice punog poprečnog presjeka kao dodatni materijal, FCAW koristi elektrode čija je unutrašnjost ispunjena praškom prikladnim za proces. Elektrode punjene praškom štite zavareni spoj od korozije i onečišćenja pomoću prirodnih elemenata.

FCAW je među najkorištenijim postupcima zavarivanja zbog svoje fleksibilnosti i svestranosti. Materijali poput lijevanog željeza, nehrđajućeg čelika, ugljičnog čelika, legura s visokim udjelom nikla i niskolegirani čelici mogu se jednostavno zavariti FCAW postupkom. Upotrebljava se kod izgradnje mostova, popravka radnih strojeva i sličnih postupaka[25].

## 5.1. Vrste FCAW postupka

Postupak zavarivanja praškom punjenom žicom odvija se na dva načina. Primarno se dijeli na dvije vrste na temelju metode zaštite taline[25].

### 5.1.1. FCAW – G postupak zavarivanja

Metoda dvostruke zaštite prilikom zavarivanja, uključuje upotrebu ugljičnog dioksida zajedno s praškom kako bi se osigurala dodatna zaštita. Najčešći zaštitni plinovi uključuju ugljični dioksid i smjese argona (75%) i ugljičnog dioksida (25%). Ugljični dioksid, osiguran izvana pomoću visokotlačne plinske boce, štiti talinu zavara od oksidacije. Metal je također zaštićen troskom koja nastaje kao rezultat taljenja praška.

Ovaj se postupak obično primjenjuje kada se trebaju zajedno zavariti deblji materijali. Neprekidni dovod žice omogućuje velike količine depozita i produktivniju proizvodnju (u usporedbi sa žicom punog poprečnog presjeka).

Možda je jedini nedostatak ovog postupka što jak vjetar može poremetiti zaštitu ugljičnim dioksidom i utjecati na kvalitetu zavarivanja u teškim vanjskim vremenskim uvjetima[25].

### 5.1.2. FCAW – S postupak zavarivanja

Ova metoda se oslanja na plinsku zaštitu i trosku koju tvori praškom punjena žica kako bi zaštitila talinu i metal zavara. Prašak u elektrodi se sastoji od tvari koje pod utjecajem visoke temperature stvaraju zaštitni plin.

Ova vrsta zavarivanja intenzivno se koristi u teškim vanjskim projektima, bez obzira na vremenske uvjete. Najveća prednost je što nije potreban vanjski zaštitni plin jer vjetroviti uvjeti ne remete postupak zavarivanja, što ga čini idealnim za vanjske primjene[25].

## 5.2. Prednosti FCAW postupka zavarivanja

Jedne od najvažnijih prednosti FCAW postupka zavarivanja su[25]:

- ima veće količine depozita (po satu) u usporedbi s drugim tehnikama
- izvrstan je za zavarivanje prljavih, zahrđalih ili onečišćenih metala
- idealan je za sve položaje zavarivanja i aktivnosti zavarivanja na otvorenom zbog zaštitnog sloja stvorenog praškom

- prilično je jednostavan za naučiti i svladati
- ne zahtijeva visoku razinu spretnosti zavarivača (kao kod TIG zavarivanja)
- treba vrlo malo (dodatne) opreme što čini zavarivanje praktičnim
- FCAW rezultira ujednačenim mehaničkim svojstvima duž zavara, zavarima visoke čvrstoće i manjim brojem grešaka u zavarenom spoju
- idealno za metale poput nehrđajućeg čelika, ugljičnog čelika, legura s visokim udjelom nikla i niskolegirane čelike.

### **5.3. Nedostatci FCAW postupka zavarivanja**

Iako FCAW postupak nudi brojne prednosti i dalje postoje određene mane i ograničenja[25]:

- budući da postupak nije u potpunosti automatiziran, može doći do manjka preciznosti zbog ručnih ili mehaničkih pogrešaka
- rad u blizini otrovnih dimova ili plinova može biti opasan, pa se stoga ova vrsta zavarivanja mora odvijati u prostoru koji je dobro provjetren i ventiliran
- trošak FCAW žice je značajno viši od one koja se upotrebljava u MAG postupku
- uklanjanje troske neophodno je za postizanje glatke, gotove površine zavara.

## 6. ISO 17652-2

EN ISO 17652 – 2 je jedna od niza normi koje se nalaze pod normom EN ISO 17652. Norma EN ISO 17652 se sastoji od sljedećih dijelova pod općenitim naslovom: „Zavarivanje - Ispitivanje temeljnih premaza povezanih sa zavarivanjem i srodnim postupcima“ (*eng. Welding – Test for shop primers in relation to welding and allied processes*)[26]:

1. opći zahtjevi
2. svojstva zavarivanja temeljnih premaza
3. toplinsko rezanje
4. emisija dimova i plinova.

### 6.1. Test procjene zavarljivosti

Ovaj test omogućuje procjenu relativne zavarljivosti temeljnih premaza određene debljine izrađivanjem standardnog zavara preko niza temeljnih premaza i naknadnim određivanjem stupnja rezultirajuće poroznosti. Propisan je samo jedan postupak zavarivanja, elektro-lučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti aktivnog plina (MAG - *eng. Metal Arc Welding*, postupak 135 u skladu s EN ISO 4063). Konfiguracija spoja i mali zazori konstruirani su tako da daju značajne razine poroznosti iz razloga diferencijacije i ponovljivosti. Norma ne navodi granice prihvatljivosti jer one ovise o praktičnoj primjeni. Očekuje se da će razine poroznosti tijekom praktične primjene biti niže od razina izmjerenih tijekom ispitivanja[26].

#### 6.1.1. Priprema uzoraka za ispitivanje

Za svaki temeljni premaz potrebno je pripremiti 10 ispitnih komada. Svaki će se komad sastojati od dvije ploče svijetlovučenog čelika u skladu s EN 10278[26].

EN 10278:2007 je Hrvatski normativni dokument koji opisuje mjere i dopuštena odstupanja svijetlovučenih čeličnih proizvoda[27].

Dimenzije ispitnih komada su:

- 20 mm × 80 mm × 200 mm
- 12 mm × 50 mm × 200 mm.

Dijelovi moraju imati glatke, ravne, neoštećene površine i sve neravnine na rubovima je potrebno ukloniti. Oba radna komada je potrebno odmastiti, a veći radni komad s jedne strane

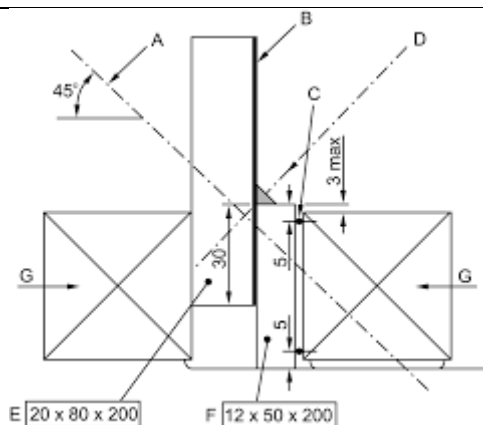
premazati temeljnim premazom prije ispitivanja. Debljina temeljnog premaza mora biti ujednačena i u skladu s preporukom proizvođača. Ako nije drugačije naznačeno, ispitni uzorci se mogu zavarivati nakon razdoblja sušenja od najmanje 10 dana pri temperaturi površine iznad 10 ° C, ali ispod 40 ° C i pri minimalnoj vlažnosti zraka od 50%. Alternativni uvjeti pohrane moraju se nadzirati i prijaviti u izvještaju o ispitivanju. Potrebno je provjeriti debljinu, npr. upotrebom malih glatkih čeličnih ploča ili staklenih ploča[26]

### 6.1.2. Zavarivanje

Uzorke je potrebno stezati u hidrauličnoj spravi za stezanje cijelom duljinom, sila stezanja iznosi 10 kN ± 5%. Na naznačeno mjesto treba umetnuti bakrene žice promjera 2 mm. Ispitni uzorak mora biti nagnut pod kutom od 45 ° kako bi se zavarivanje moglo nastaviti u položaju za zavarivanje PA u skladu s EN ISO 6947[26]. Rapored ispitnih komada tijekom zavarivanja je prikazan na slici 22. Parametri zavarivanja su navedeni u tablici 6.

**Tablica 6. Parametri zavarivanja za test procjene zavarljivosti[26]**

PARAMETAR	VRIJEDNOST
Postupak zavarivanja	135, EN ISO 4063
Struja	250 A ± 5 %
Napon	30 V ± 5 %
Brzina zavarivanja	350 mm/min ± 5 %
Zaštitni plin	C1: 100 % CO <sub>2</sub> , EN ISO 14175
Protok plina	15 l/min do 20 l/min
Promjer plinske sapnice	16 mm do 19 mm
Slobodni kraj žice	18 mm do 20mm
Dodatni materijal, tip	G3 Si1, EN ISO 14341
Žica za zavarivanje, promjer	1,2 mm
Polaritet	+ na elektrodi

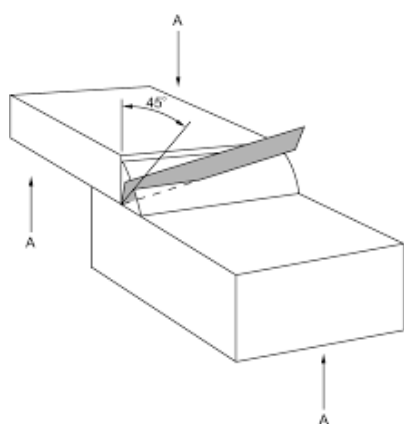


**Slika 22. Raspored ispitnih komada tijekom zavarivanja[26]**

- A Horizontalna os tijekom zavarivanja
- B Premazana površina
- C Bakrene žice  $\varnothing 2$  mm
- D Kut loma zavarenog spoja
- E Ploča od svijetlovučenog čelika ( $20 \times 80 \times 200$ )
- F Ploča od svijetlovučenog čelika ( $12 \times 50 \times 200$ )
- G Hidraulične stezaljke, 10 kN

### 6.1.3. Lom ispitnog zavara

Ispitni zavar se lomi pomoću opterećenja u tri točke kako je prikazano na slici 23. Uzorak se odbija ako se lom ne dogodi po sredini zavarenog spoja. Zavar se mora prelomiti na temperaturi od približno  $150^{\circ}\text{C}$  do  $250^{\circ}\text{C}$  tako da se granice pora jasno vide[26].



A opterećenje u tri točke

**Slika 23. Lomljenje ispitnog zavara[25]**

#### **6.1.4. Ispitivanje i određivanje poroznosti**

Ne uzimaju se u obzir pore kod kojih je najveći promjer manji od 0,5 mm. Procjena se provodi kod povećanja u kojem se mogu izmjeriti pore veće od 0,5 mm (najveći promjer). Međutim, uvećanje ne smije biti manje od 10 puta. Potrebno je analizirati duljinu od 100 mm, isključujući 60 mm od početka i 40 mm od kraja uzorka[26].

Sljedeće se utvrđuje i bilježi[26]:

- broj pora većih od 0,5 mm,  $n$
- utvrđena ukupna površina pora  $F$ , mm<sup>2</sup>
- srednja površina pojedinih pora  $F/n$ , mm<sup>2</sup>.

#### **6.1.5. Izvještaj o ispitivanju**

Za svako ispitivanje sastavlja se izvješće, u kojem se detaljno navodi sljedeće[26]:

- a) da je ispitivanje provedeno u skladu s ovim standardom
- b) kupac i broj ugovora, prema potrebi
- c) organizacija koja izvodi ispitivanje, prema potrebi
- d) mjesto i datum ispitivanja
- e) identifikacija uzorka
- f) oznaka temeljnog premaza
- g) postupak zavarivanja i dodatni materijal, prema potrebi
- h) primijenjena debljina premaza
- i) stanje površine prije zavarivanja
- j) parametri zavarivanja (WPS ili referenca drugog dokumenta)
- k) kriteriji za ocjenu zavara
- l) broj pora većih od 0,5 mm,  $n$
- m) utvrđena ukupna površina pora  $F$ , mm<sup>2</sup>
- n) srednja površina pojedinih pora  $F/n$ , mm<sup>2</sup>.

## 6.2. Ispitivanje zavarljivosti

Ovo ispitivanje detaljno opisuje uvjete za procjenu zavarljivosti sloja temeljnog premaza na čeliku, koristeći postupke elektrolučnog zavarivanja.

Uvjeti zavarivanja postignuti primjenom sile na određenim položajima duž spoja rezultiraju kutnim zavarom s „nultim razmakom“ (*eng. zero gap*). Smatra se da ovi uvjeti zavarivanja rezultiraju poroznošću koja se ne susreće u praksi (osim ako nisu traženi i postignuti uvjeti nulte zračnosti/nultog razmaka).

Međutim, postavljanjem uvjeta za koje se zna da daju „najgori slučaj“ formiranja pora, ispitivanje je ponovljivo i može se koristiti za dosljednu procjenu zavarljivosti.

Kutni zavar je odabran kao tipična vrsta zavara koja se susreće u praksi.

Ovo ispitivanje omogućuje usporedbu između različitih temeljnih premaza primjenom postupka zavarivanja prikladnog za određenu primjenu ili između različitih postupaka zavarivanja korištenjem određenog temeljnog premaza[26].

### 6.2.1. Priprema uzorka

Svaki ispitni komad sastoji se od dvije čelične ploče sljedećih dimenzija[26]:

- za elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška: najmanje 100 mm duljine, 80 mm do 100 mm širine i najmanje 12 mm debljine
- za sve ostale postupke: najmanje 500 mm duljine, 80 mm do 100 mm širine i najmanje 10 mm debljine.

Osnovni materijal mora biti razred S275 prema EN 10025: 1990. Dijelovi moraju imati glatke, ravne, neoštećene površine, a sve neravnine na rubovima moraju se ukloniti kako bi se osiguralo dobro prijanjanje jedne ploče na drugu.

Ispitni komadi moraju biti jednoliki i abrazivno obrađeni pjeskarenjem do SA 2 1/2<sup>1</sup> (EN ISO 8501-1: 2001) i presvučeni temeljnim premazom u skladu s preporukom dobavljača za vrstu ispitivanog temeljnog premaza. Debljina temeljnog premaza mora biti ujednačena i u skladu s preporukom dobavljača. Ako nije drugačije naznačeno, uzorci se mogu zavarivati nakon

---

<sup>1</sup> Standardna ocjena čistoće za abrazivno pjeskarenje u skladu s BS EN ISO 8501-1, Sa 2½ - Vrlo temeljito čišćenje pjeskarenjem[28]



perioda sušenja od najmanje 10 dana na površinskoj temperaturi iznad  $10^{\circ}\text{C}$ , ali ispod  $40^{\circ}\text{C}$  i pri minimalnoj vlažnosti zraka od 50%. Alternativni uvjeti skladištenja nadziru se i zapisuju u izvještaju o ispitivanju.

Debljina se provjerava npr. upotrebom malih glatkih čeličnih ploča ili staklenih ploča.

Za svaku seriju ispitivanja potrebno je pripremiti kontrolni ispitni komad na način kao što je već opisano, ali bez nanošenja temeljnog premaza i zavarivanje je potrebno napraviti prije početka pojave korozije [26].

### 6.2.2. Postupak

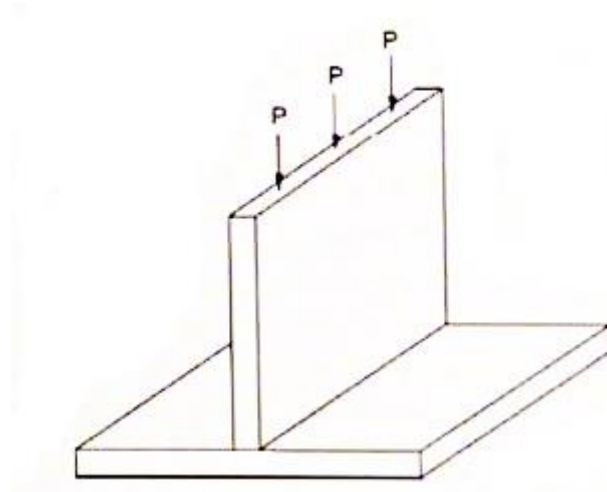
Za svaku seriju ispitivanja, nepremazani kontrolni komad zavaruje se prije ispitnih uzoraka na koje je nanesen temeljni premaz, koristeći isti postupak zavarivanja.

Potrebno je postaviti ispitne uzorke kako je definirano i prikazano na slici 25 i primijeniti dovoljan pritisak da se osigura zračnost između radnih komada koja je manja od 0,05 mm, što se potvrđuje npr. pomoću mjernih listića koji su prikazani na slici 24[26].



Slika 24. Mjerni listići[29]

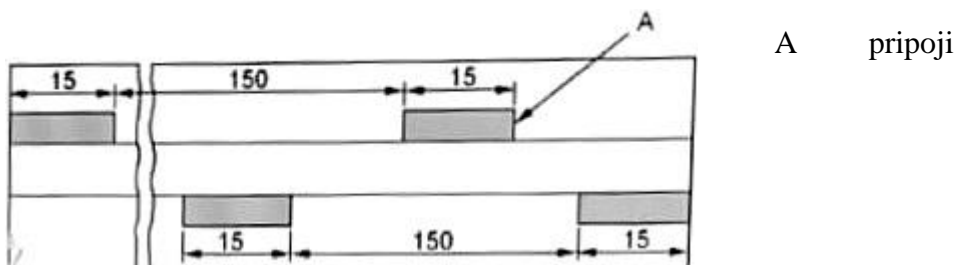
P Smjer djelovanja sile



Slika 25. Položaj djelovanja sile[26]

### 6.2.3. Pripoji

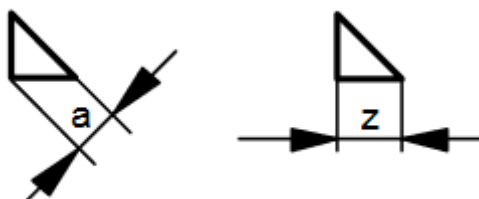
Ispitne komade je potrebno zavariti na svakom kraju alternativnih strana. Za ravnomjernu raspodjelu zavara moraju biti dužine približno 15 mm u međusobnom razmaku od približno 150 mm. Također je potrebno izvesti isti postupak zavarivanja i na drugoj strani kutnog spoja kako je prikazano na slici 26. Potrebno je označiti položaj svih zavara dobivenih ovim postupkom kako bi se osiguralo da nisu uključeni u naknadnu evaluaciju. Nakon toga dolazi do otpuštanja pritiska kako bi se uklonio ispitni komad, istovremeno osiguravajući da razmak ne prelazi 0,05 mm[26].



Slika 26. Položaji pripoja[26]

### 6.2.3.1. Zavarivanje

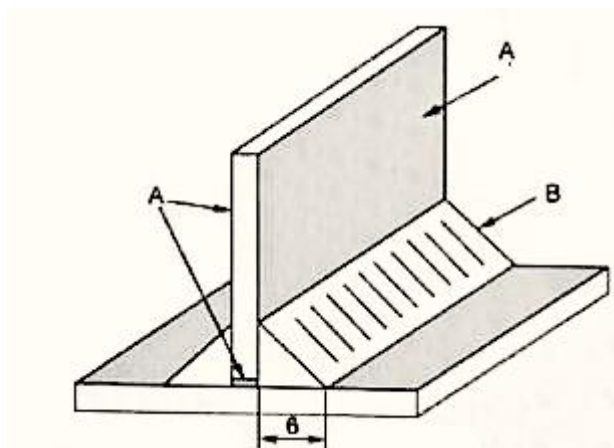
Potrebno je zavariti ispitni komad u ispitnom položaju PB<sup>2</sup> u skladu s EN ISO 6947, s jednim prolazom sa svake strane, dajući visinu oznake z<sup>3</sup> od 6 mm. Na slici 27 je prikazano na što se točno oznake z i a odnose kod kutnog zavara.



Slika 27. Oznake z i a za kutni zavar[30]

Obostrano zavarivanje se ne smije odvijati istovremeno (osim u stupnjevitim razmacima) nego u međusobnom razmaku od maksimalno 30 minuta.

Potrebno je odabrati parametre zavarivanja, uključujući brzinu zavarivanja kako bi se uzeli u obzir uvjeti i zahtjevi proizvodnje. Parametri zavarivanja se moraju zabilježiti u specifikaciju postupka zavarivanja (SPZ)[26]. Na slici 28 je prikazano kako bi ispitni komad trebao izgledati.



- A Površina s temeljnim premazom
- B Zavar

Slika 28. Ispitni komad za ispitivanje zavarljivosti[26]

<sup>2</sup> Horizontalno vertikalni položaj

<sup>3</sup> Strana najvećeg trokuta koji se može ucrtati na presjeku,  $z=a\sqrt{2}$  [30]

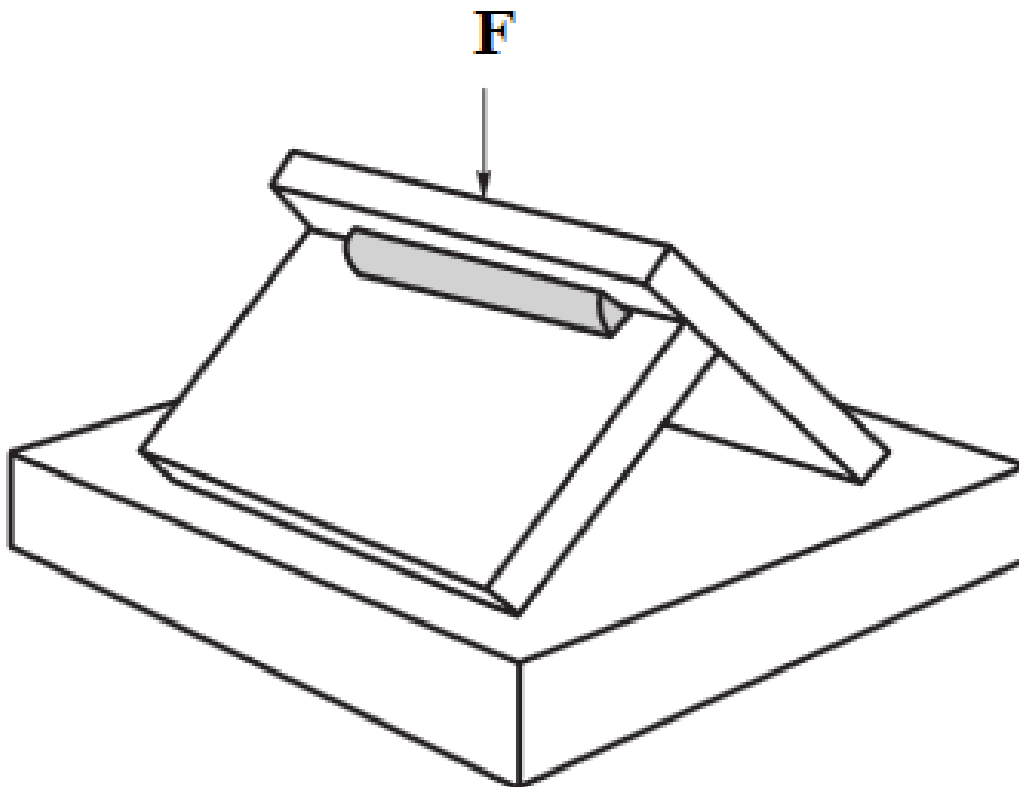
#### 6.2.4. Ocjenjivanje zavora

Zavar se ispituje vizualno prema navedenim kriterijima prihvatljivosti koji se zahtijevaju[26].

##### 6.2.4.1. Interni pregled

Potrebno je izdvojiti tri zasebna dijela dužine 100 mm između pripoja, nakon toga uklanja se prvotni zavar. Također je dopušteno ukloniti prvotni zavar prije nego što se uzorak podijeli na tri zasebna dijela.

Uzorak se dijeli na zasebne dijelove kako je prikazano na slici 29. Svaki zasebni dio se ocjenjuje prema razinama kvalitete koje su unaprijed određene i definirane za otkrivene nedostatke. Površina loma se ocjenjuje prema zahtjevanim kriterijima prihvatljivosti[26].



Slika 29. Ocjenjivanje zavora[26]

### **6.2.5. Izvješće o ispitivanju**

Izvješće se sastavlja za svaki ispitni primjerak, navodeći najmanje sljedeće[26]:

- a) da je ispitivanje provedeno u skladu s ovim standardom
- b) kupac i broj ugovora, prema potrebi
- c) organizacija koje provodi ispitivanje, prema potrebi
- d) mjesto i datum ispitivanja
- e) identifikacija uzorka
- f) oznaka temeljnog premaza
- g) postupak zavarivanja i potrošni materijal, prema potrebi
- h) primijenjena debljina premaza
- i) stanje površine prije zavarivanja
- j) parametri zavarivanja (WPS ili referenca drugog dokumenta)
- k) kriteriji za ocjenu zavara.

## 7. EKSPERIMENTALNI RAD

U eksperimentalnom dijelu je potrebno u skladu s normom HRN EN ISO 17652 – 2 provesti ispitivanje zavarivačkih svojstava. Osim normom definiranog postupka MAG (135 prema normi HRN EN ISO 4063), ispitivat će se i zavarivanje pomoću praškom punjene žice (136 prema normi HRN EN ISO 4063). Na zavarenim ispitnim komadima provedene su određene probe i ocijenjena je njihova prikladnost za primjenu u praksi. Za zaključak je dana usporedba između postupaka 135 i 136 provedenima na osnovnom materijalu koji je prethodno premazan temeljnim premazom.

### 7.1. Osnovni materijal

Kao osnovni materijal je poslužio opći konstrukcijski nelegirani čelik oznake S355NL prema normi DIN EN 10025 – 4:2005. Slova NL ukazuju na to da se jamči udarni rad lom KV do – 50°C, a broječna oznaka 355 se odnosi na granicu razvlačenja u MPa. Koristi se kod zavarenih spojeva koji trebaju podnijeti velika naprezanja. Tipična primjena su mostovi, piloni i druge konstrukcijske građevine[32, 33].

U tablicama 7 i 8 su prikazana mehanička i kemijska svojstva materijala S355NL. Upotrebljavali su se uzorci dimenzija 240 x 50 x 12 mm.

**Tablica 7. Kemijski sastav materijala S355NL izražen u masenim udjelima[33]**

C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cu	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Ti
max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
0,18	0,5	1,65	0,025	0,02	0,015	0,02	0,55	0,3	0,5	0,1	0,05	0,12	0,05

**Tablica 8. Mehanička svojstva S355NL[33]**

Debljina stijenke, mm	Granica razvlačenja $R_e$ , MPa	Vlačna čvrstoća $R_m$ , MPa	Produljenje, %
≤ 16	355	470 - 630	22
> 16 ≤ 40	345	470 - 630	22
> 40 ≤ 63	335	470 - 630	22
> 63 ≤ 80	325	470 - 630	21

Tablica 9. Udarni rad loma, J za S355NL[33]

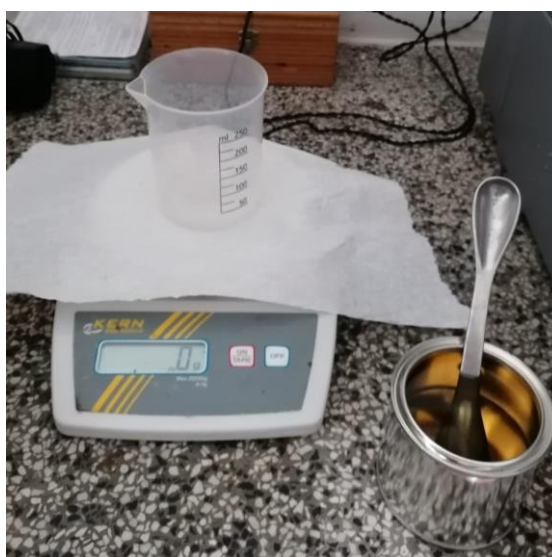
Čelik	-50	-40	-30	-20	-10	0	20
S355NL	27	31	40	47	51	55	63

## 7.2. Nanošenje premaza

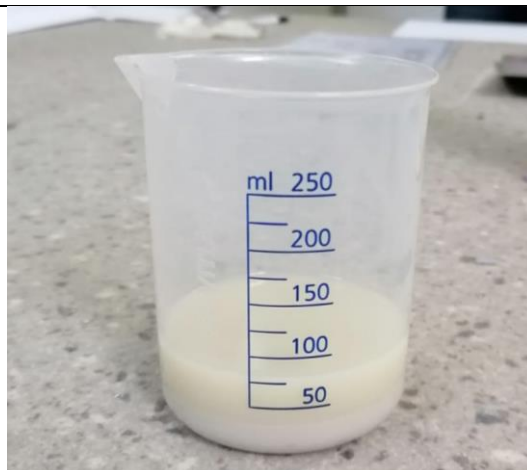
U Laboratoriju za zaštitu materijala je provedeno nanošenje dvokomponentnog temeljnog premaza na osnovi epoksidnog veziva i poliamidaminskog utvrđivača. Prvo ga je bilo potrebno zamiješati u zadanom omjeru 2:1. Sve potrebne tehničke informacije o temeljnom premazu naziva SHOP primer E od strane proizvođača Helios iz Slovenije se nalaze na kraju diplomskog rada u obliku dodatka. Na slikama 30, 31 i 32 su prikazani sami premazi i njihovo mjerenje i konačna smjesa.



Slika 30. Dvokomponentni temeljni premaz SHOP primer E



Slika 31. Mjerenje količine utvrđivača radi poštivanja zadanog omjera



**Slika 32. Zamiješani dvokomponentni premaz**

Dobio se premaz rijetke konzistencije što je otežalo samo nanošenje na uzorke. Premaz se nanosio pomoću kubnog aplikatora, proizvođača Elcometer, koji je prikazan na slici 33. Sveukupno se temeljni premaz nanosio na 4 ploče, od kojih dvije tvore jedan par radnih komada za MAG zavarivanje kutnog zavara dok druge dvije služe za FCAW zavarivanje kutnog zavara. Premaz je nanesen u dva puta kako bi se dobila željena debljina i svaki sloj je bio ostavljen da se suši 24 sata u atmosferskim uvjetima. Na dvije ploče je premaz nanesen s obje strane kako norma i nalaže. Prije premazivanja ploče su bile obrušene i očišćene od masnoća pomoću alkohola. Izgled ploča prije nanošenja premaza se može vidjeti na slici 34, a sam postupak nanošenja pomoću aplikatora na slici 35.

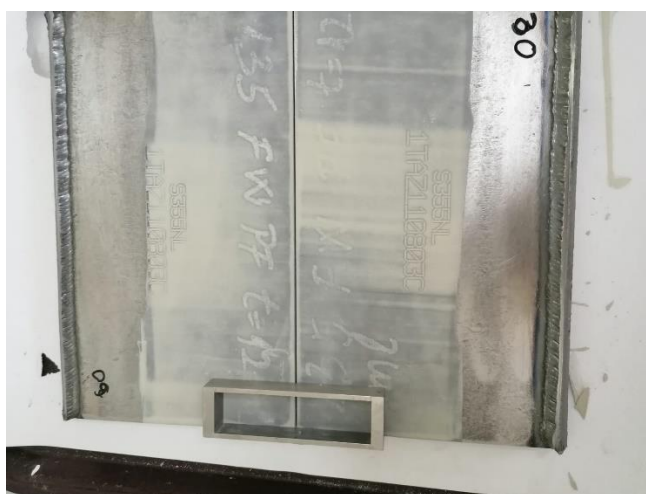


**Slika 33. Kubni aplikator proizvođača Elcometer**



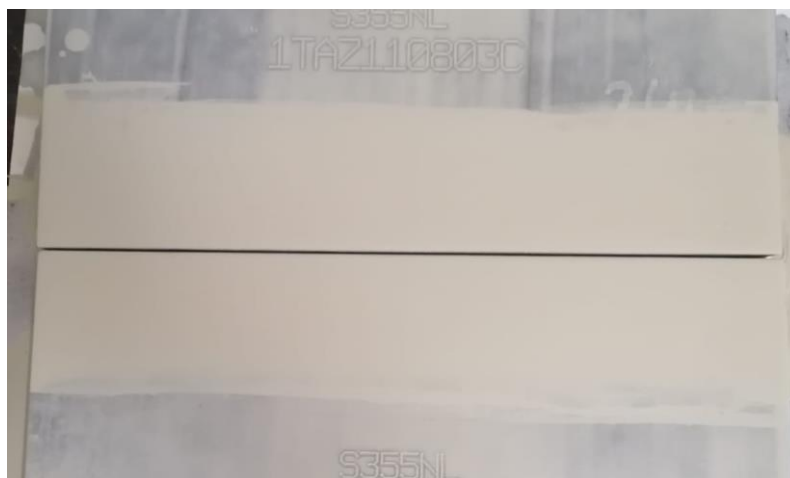


**Slika 34. Pripremljene ploče za nanošenje temeljnog premaza**



**Slika 35. Nanošenje drugog sloja temeljnog premaza pomoću aplikatora**

Na slici 36 može se vidjeti izgled uzoraka nakon dovršenog postupka premazivanja i 24 sata sušenja od nanošenja zadnjeg sloja.



**Slika 36. Ispitni uzorak nakon završenog postupka premazivanja**

### 7.3. Debljina premaza

Mjerenje debljine temeljnih premaza na uzorcima je provedeno sukladno normi HRN EN ISO 2808:2008 pomoću uređaja Elcometer 456/4. Prije samog postupka mjerenja bilo je potrebno provesti umjeravanje uređaja uz pomoć etalona dobivenog od strane proizvođača uređaja. Provedeno je na glatkoj pločici čija debljina približno odgovara debljini mjenenog premaza. Na slikama 37 i 38 može se vidjeti sam postupak mjerenja debljine premaza i kako izgleda dobivanje rezultata debljine premaza.



Slika 37. Postupak mjerenja debljine premaza



Slika 38. Prikaz rezultata mjerenja debljine pomoću uređaja Elcometer 456/4

Uzete su srednje vrijednosti mjerenih točaka na uzorcima za debljinu premaza. Oznake metalnih ploča koje su se upotrijebile za MAG postupak zavarivanja su 1A i 1B, a za FCAW postupak zavarivanja 2A i 2B. U tablici su prikazane srednje debljine premaza na čeličnim pločama gdje oznake 1A' i 1B' predstavljaju stražnju stranu uzoraka gdje je također nanesen premaz za potrebe obostranog kutnog zavarivanja.

**Tablica 10. Rezultati mjerenja debljine premaza**

OZNAKA	SREDNJA DEBLJINA PREMAZA, $\mu\text{m}$
1A	94,54
1A'	112,5
1B	88,67
2A	86,5
2A'	92,65
2B	80,9

#### 7.4. Zavarivanje MAG postupkom

Prije samog postupka zavarivanja kutnog zvara prvo je provedeno izvođenje pripoja kako bi se osigurala sigurnost položaja ploča tijekom zavarivanja kao što je prikazano na slici 39.



**Slika 39. Pripoj**

Pripoji su izvedeni pomoću uređaja Fronius model TPS 320i C PULSE/4R/FSC koji je prikazan na slici 40 zajedno sa korištenim parametrima.



**Slika 40. Fronius TPS 320i i pripadajući parametri zavarivanja**

Za obostrano zavarivanje materijala S355NL je korišten uređaj Welbee P400 proizvođača Daihen Varstroj, prikazan na slici 41. U tablici 11 se mogu vidjeti njegove tehničke specifikacije.



**Slika 41. Welbee P400, Daihen Varstroj**

Tablica 11. Tehničke specifikacije Welbee P400, Daihen Varstroj[34]

Model	WP-400
Model broj faza	3
Nazivna frekvencija	50/60 Hz
Priključni napon	400V $\pm$ 15%
Priključna snaga	17,4 KW
Nazivna primarna struja	27,6 A
Nazivna izlazna struja	400 A
Nazivni izlazni napon	34 V
Raspon struje zavarivanja	30 do 400 A
Raspon napona zavarivanja	12 do 34 V
Izlazni napon max	80 V
Intermitencija	400A ED = 50% 370A ED = 100%
Broj zavarivačkih programa	100
Najveći porast temperature	160°C
Radna temperatura	-10 do 40°C
Vanjske dimenzije (D x Š x V)	395 mm x 710 mm x 592 mm
Masa	62 kg
Statička karakteristika	Konstantna naponska karakteristika

Nakon mjerenja debljine premaza ploče su grupirane prema sličnosti debljine premaza i tako tvore radni komad 1 (ploče 1A i 1B) i radni komad 2 (ploče 2A i 2B). B oznake se odnose na donju ploču radnog komada. Radni komad 1 će se koristiti za ispitivanje zavarljivosti kod MAG zavarivanja. Upotrijebljeni su parametri navedeni u normi ISO 17652-2.

Parametri zavarivanja su prikazani na slici 39 i tablično u tablici 12.



Tablica 12. Parametri kod MAG zavarivanja

PARAMETAR	VRIJEDNOST
Struja	250 A
Napon	30 V
Brzina zavarivanja	350 mm/min
Protok plina	17 l/min
Slobodni kraj žice	20 mm
Dodatni materijal, tip	G3 Si1, EN ISO 14341
Žica za zavarivanje, promjer	1,2 mm
Polaritet	+ na elektrodi



Slika 42. Postavljeni parametri kod MAG zavarivanja

Za eksperimentalni postupak upotrijebio se sustav za automatsko upravljanje „Bugo systems“ prikazan na slici 43. Za prikazani uređaj je pričvršćen pištolj za zavarivanje te se giba paralelno uz radni komad uz pomoć nosača, također postoji mogućnost namještanja udaljenosti vrha elektrode od radnog komada, na samom uređaju za automatiziranje se namješta brzina zavarivanja.



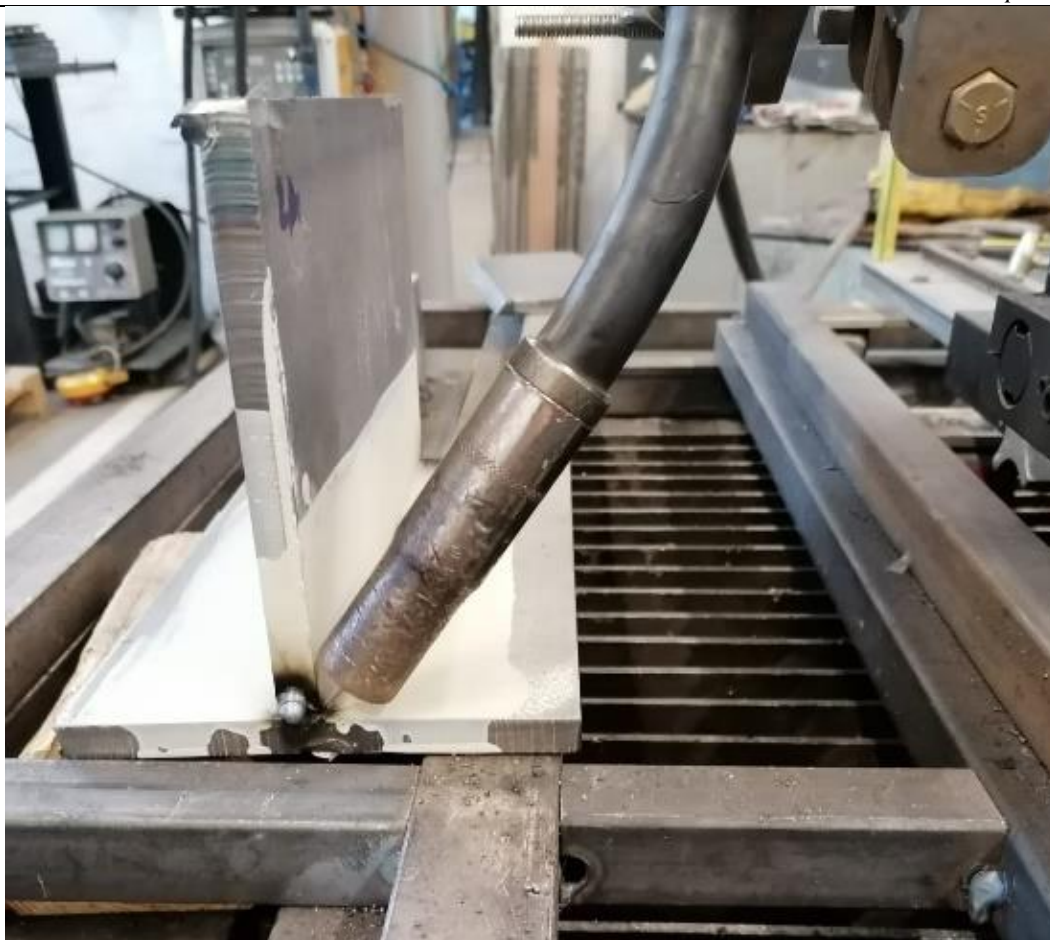
**Slika 43.** „Bugo Systems“, uređaj za automatiziranje postupka zavarivanja

Koristio se zaštitni plin oznake C1 (100% CO<sub>2</sub>) prema ISO 14175 proizvođača Messer, prikazan na slici 44. U ovom slučaju je protok plina iznosio je 17 l/min što zadovoljava zahtjeve norme (15 – 20 l/min).



**Slika 44.** Zaštitni plin



Zavarivanje je provedeno neutralnom tehnikom zavarivanja (nagib pištolja od 90°) automatiziranim postupkom MAG zavarivanja u jednom prolazu s obje strane unutar vremenskog razmaka od 10 minuta. Razmak pištolja za zavarivanje od radnog komada je bio namješten na 20 mm. Položaj pištolja za zavarivanje je prikazan na slici 45.



Slika 45. Položaj pištolja za zavarivanje MAG postupkom



U tablicama 13 i 14 su prikazani rezultati obostranog MAG zavarivanja prema normi ISO 17652-2, prije i nakon čišćenja radnog komada od troske i odmašćivanja alkoholom.

Tablica 13. Ispitni uzorak 1 zavaren MAG postupkom, prije čišćenja

Oznaka	Prije čišćenja
1A	
1A'	



**Tablica 14. Ispitni uzorak 1 zavaren MAG postupkom, poslije čišćenja**

Oznaka	Poslije čišćenja
1A	
1A'	

Samom vizualnom metodom može se odmah vidjeti kako je došlo do rasprskavanja. Strana 1A pokazuje puno veće nepravilnosti i neuredniji zavar nego li strana 1A'. To bi mogao biti utjecaj razlike u debljinama premaza koja iznosi 17,96  $\mu\text{m}$  kada se pogleda razlika premaza 1A' u odnosu na 1A. Dok se kod uzorka 1A mogu vidjeti vanjske pore po dužini cijelog zavara, kod uzorka 1A' one su fokusirane na kritičnom i očekivanom mjestu paljenja luka. Detalj nastale greške na mjestu paljenja luka kod uzorka 1A' se može vidjeti na slici 46.

**Slika 46. Nepravilnost na uzorku 1A'**

### 7.5. Zavarivanje FCAW postupkom

Kod zavarivanja FCAW postupkom ostaju isti parametri, zaštitni plin, postupak zavarivanja pripoja i automatiziran sustav za zavarivanje „Bugo Systems“. Zavarivanje je isto tako provedeno neutralnom tehnikom zavarivanja (nagib pištolja od 90°) automatiziranim postupkom u jednom prolazu s obje strane unutar vremenskog razmaka od 10 minuta. Razmak pištolja za zavarivanje od radnog komada je namješten na 20 mm.

Jedina razlika je korištenje novog izvora struje za zavarivanje, korišten je model MIG 500 E, od strane proizvođača Uljanik. Radi se o starijem uređaju gdje nije bilo moguće namjestiti struju zavarivanja nego se ona kontrolirala kroz namještanje brzine žice koja je postavljen na približno 8 cm/min oslanjajući se na informacije dobivene prilikom MAG zavarivanja. Napon se namještao u toku zavarivanja kako bi zadovoljio napon naveden u normi koji bi trebao biti između 28,5 i 31,5 V.

Izvor struje za zavarivanje FCAW postupkom je prikazan na slici 47.



Slika 47. MIG 500 E, ULJANIK

Slika 48 prikazuje postavljene parametre na FCAW uređaju za zavarivanje.



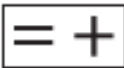

Slika 48. Postavljeni parametri FCAW zavarivanja

U tablici 15 se mogu vidjeti određeni parametri za FCAW postupak zavarivanja.

Tablica 15. Parametri FCAW zavarivanja

PARAMETAR	VRIJEDNOST
Brzina žice	7,8 cm/min
Napon	30 V
Brzina zavarivanja	350 mm/min
Protok plina	17 l/min
Slobodni kraj žice	20 mm
Dodatni materijal, tip	K – 71 TLF
Žica za zavarivanje, promjer	1,2 mm
Polaritet	+ na elektrodi

Koristila se praškom punjena žica kao dodatni materijal promjera 1,2 mm oznake K – 71 TLF, proizvođača Elektroda Zagreb. Njene specifikacije se mogu vidjeti na slici 49.

K - 71 TLF					
NORME					
HRN EN ISO	AWS / ASME				
17632-A	SFA-5.20				
T46 2 P C/M 1 H5	E71T-1C/1M				
SVOJSTVA   PODRUČJE PRIMJENE					
<p>Rutina šavna praškom punjena žica za zavarivanje u zaštitnoj atmosferi plina CO<sub>2</sub> ili mješavine plinova Ar/CO<sub>2</sub>. Namijenjena je za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika čvrstoće do 590 N/mm<sup>2</sup> te sitnozmatih čelika s granicom razvlačenja do 355 N/mm<sup>2</sup>. Površina zavara je glatka, prskanje kapljica rastaljenog metala je minimalno a troska se lako odstranjuje. Odlikuje se niskom emisijom dimnih plinova i dobrom žilavošću metala zavara pri niskim temperaturama.</p>					
Grupa čelika	HRN (stari)	DIN (W. Nr.)		HRN / EN / ISO	
Konstruktivski čelici	Č 0261 do Č 0563	St 33 (1.0035) do St 52-3N (1.0570)		S 185 do S 355J2G3 Fe 310-0 do Fe 490-2	
Koštovski čelici	Č 1202 Č 1204 Č 3133 Č 3105	H11 (1.0345) 17Mn4 (1.0481)	H11 (1.0425) 19Mn6 (1.0473)	P235GH P265GH P295GH P355GH	
Čelici za cijevi	Č 1212 do Č 3100	St 35.4 (1.0309) do St 52.4 (1.0581) SIE 210.7 (1.0307) do SIE 360.7 (1.0582)		DX55D do P355T2 L210 do L360NB	
Brodski čelici	A, B, D, E AH 32 do EH 36	A, B, D, E AH 32 do EH 36			
Sitnozmatni čelici	ČRO 250 do ČRO 350 ČRV 250 do ČRV 350	SIE 285 (1.0486) SIE 355 (1.0562) WSIE 285 (1.0487) WSIE 355 (1.0565)		P275N P355N P275NH P355NH	
Čelični ljev	ČL 0300 do ČL 0500	GS-38 (1.0416) do GS-62 (1.0551)		C18D do S355JRC	
MEHANIČKA SVOJSTVA ČISTOG METALA ZAVARA					
R <sub>eL</sub>	R <sub>m</sub>	A <sub>5</sub>	KV (-20°C)		
N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	J		
520	570	28	65		
ORIJENTACIJSKI KEMIJSKI SASTAV ČISTOG METALA ZAVARA					
	C	Mn	Si	S	P
%	0,03	1,35	0,38	≤ 0,010	≤ 0,015
PARAMETRI ZAVARIVANJA					
Promjer žice	Jakost struje	Napon eL	Zaštitni plin		
mm	A	V	(protok)		
1,2	160 - 260	26 - 30	C1; M21 (12 - 16 l/min)		
PAKIRANJE					
Promjer žice	Namotaj		Težina		
mm			kg		
1,2	Žica do žice (S-S)		4,5; 15		
ODOBRENJA					
ABS (3YSA H10); BV (3S 3YS H10); DNV (IIYMS(H10)); GL (3YH10S); LR (3Y10SH5)					
 					

Slika 49. Specifikacija praškom punjene žice K – 71 TLF[35]



U tablici 16 je prikazan izgled zavora s obje strane prije čišćenja i odmaščivanja.

**Tablica 16. Ispitni uzorak 2 zavaren FCAW postupkom prije čišćenja**

Oznaka	Prije čišćenja
2A	
2A'	

U tablici 17 je prikazan izgled zavora s obje strane nakon čišćenja pomoću metalne četke i alkohola.

**Tablica 17. Ispitni uzorak 2 zavaren FCAW postupkom poslije čišćenja**

Oznaka	Poslije čišćenja
2A	
2A'	

Nakon zavarivanja proveden je vizualni pregled radnog komada. Kako bi se uklonila troska na nekim mjestima je bilo potrebno upotrijebiti i čekić. Odmah je vidljivo da se dobio zavar sa značajno više površinskih nepravilnosti nego li s MAG postupkom unatoč istim parametrima i zaštitnom plinu. Ploča 2A ima vidljivo veću količinu pora i rupica, osobito kako je i očekivano na početku zavora, detalj se može vidjeti na slici 50.



**Slika 50. Nepravilnosti na uzorku 2A**

Ispitni uzorak na strani 2A' i dalje ima dosta nepravilan zavar, ali ne i s tolikom količinom pora kao na 2A strani. Strana 2A' je imala deblji temeljni premaz u iznosu od 92,65  $\mu\text{m}$  dok je 2A imala debljinu od 86,5  $\mu\text{m}$ . Osim premaza utjecaj bi mogao biti i materijal unutar praškom punjene žice kojom bi se trebali prilagoditi parametri van norme.

### 7.6. Priprema uzoraka za ispitivanje

Radni komadi 1 i 2 su podijeljeni na 3 dijela. Dijelovi 1A i 1B s duljinom od 110 mm poslužili su za ispitivanje savijanjem dok se ostalih 20 mm iskoristilo za izradu makroizbrusaka.

Isto vrijedi i za uzorak 2. Na slikama 51 i 52 može se vidjeti podjela radnih komada na dijelove za provođenje ispitivanja.



**Slika 51. Podjela uzorka 1 na dijelove za ispitivanje**



**Slika 52. Podjela uzorka 2 na dijelove za ispitivanje**

Izrezivanje uzoraka se provelo na tračnoj pili s vodenim hlađenjem, postupak je prikazan na slici 53.



**Slika 53. Izrezivanje uzoraka za ispitivanje**

Površina makrouzoraka je izbrušena i očišćena od srhova postepenim ručnim postupkom brušenja, a zatim i strojno. Upotrijebljeni su brusni papiri P100, P150, P240, P400 redosljedom kako je i nabrojeno.

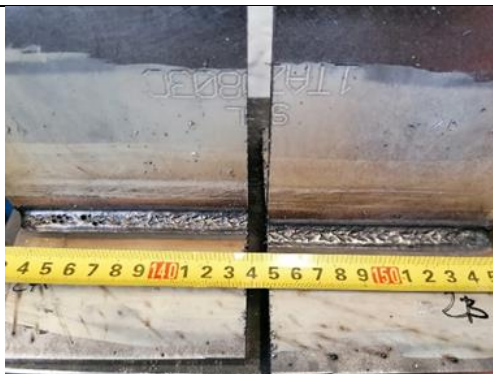
### **7.7. Ispitivanje savijanjem**

Pripremljeni su odrezani uzorci 1A, 1B, 2A, 2B duljina 110 mm kako bi se ispitao utjecaj temeljnih premaza na duktilnost samog zavara i radnog komada. Postupak se proveo pomoću hidraulične preše. Pripremljeni uzorci se mogu vidjeti na slikama 54 i 55.



**Slika 54. Uzorci 1A i 1B za ispitivanje savijanjem**





**Slika 55. Uzorci 2A i 2B za ispitivanje savijanjem**

Koristila se hidraulička preša proizvođača OMCN nosivosti 10 tona. U tablici 18 se mogu vidjeti sve informacije o preši te i sam položaj uzoraka u kojem se provodilo ispitivanje.

**Tablica 18. Ispitivanje savijanjem**





<p>Hidraulička preša OMCN 10T</p>	
<p>Specifikacije hidrauličke preše</p>	
<p>Položaj u kojem se provodi ispitivanje</p>	



Svrha ovog ispitivanja kod zavarivanja je osigurati da se zavar pravilno zavari na osnovni materijal i da se pokaže koliko je sam zavar otporan na naprezanje kod savijanja. Na ovaj se način osigurava da zavar ne sadrži nepravilnosti koje bi mogle uzrokovati puknuća pod bilo kojim pritiskom. Tijekom ispitivanja uzorak se deformira kako bi se dobio oblik „U“, materijal se na vanjskoj površini izlaže vlačnoj sili i tlačnoj s unutarnje strane. Ako ne dođe do loma na mjestu zavara i ne vide se znakovi samog loma, zavar je prihvatljive kvalitete.

U tablici 19 su prikazani rezultati ispitivanja savijanjem.

**Tablica 19. Rezultati ispitivanja savijanjem**

UZORAK	
1A	
1B	
2A	
2B	

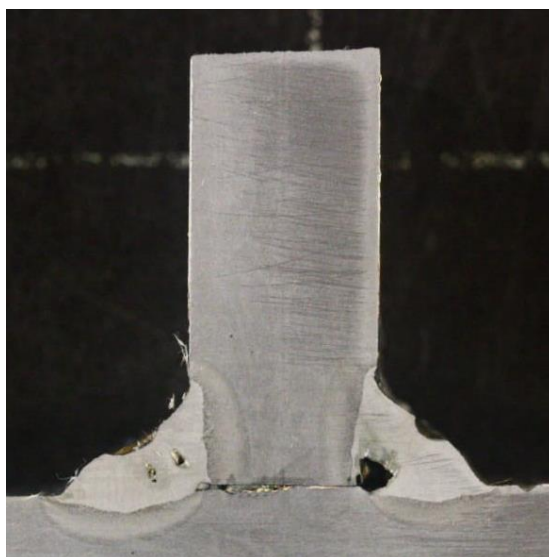
Kao što se može vidjeti iz prikazanih slika nije došlo do pojave loma niti na jednom uzorku unatoč brojnim nepravilnostima na zavaru, stoga se može zaključiti da dvokomponentni temeljni premaz SHOP primer E ne utječe na smanjenje duktilnosti zavara.

### 7.8. Analiza makroizbrusaka

Pomoću makroizbrusaka može se vidjeti geometrija zavarenog spoja, intenzitet taljenja osnovnog materijala te zona taljenja materijala. Na slici 56 se može vidjeti makrouzorak 1 zavaren MAG postupkom, a na slici 57 se može vidjeti makrouzorak 2 zavaren FCAW postupkom.



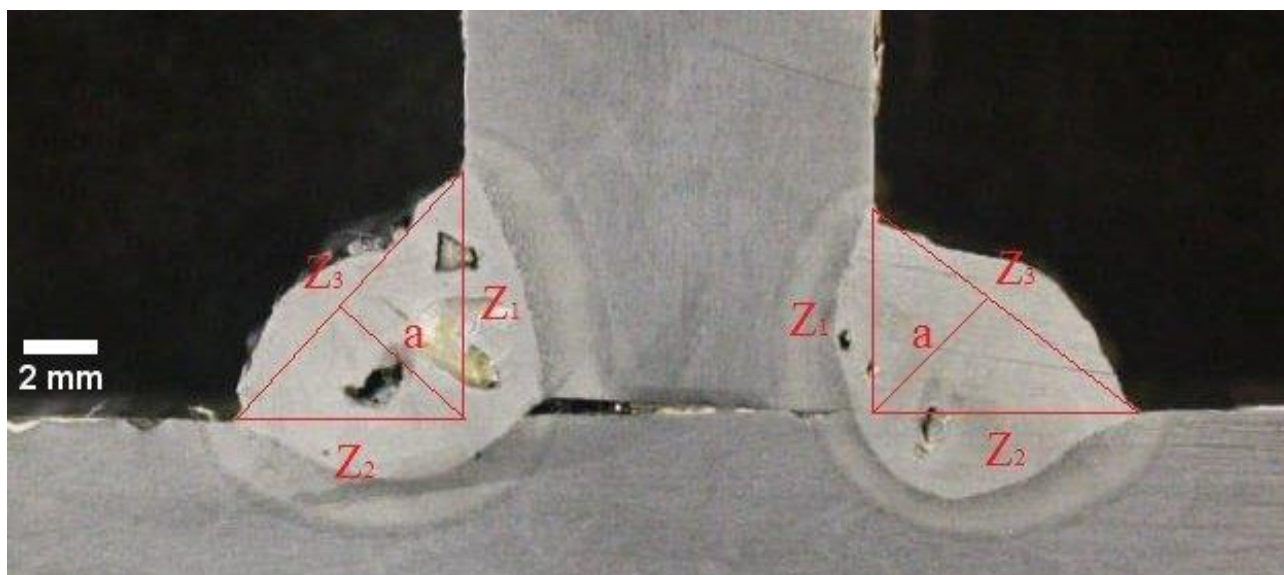
Slika 56. Makrouzorak 1



Slika 57. Makrouzorak 2

Sa slika su odmah vidljive greške u zavaru kod oba makrouzorka. Uz pomoć programa ImageJ napravljena je detaljna analiza zavara, gdje su utvrđene veličine vidljivih nepravilnosti i geometrija obostranog zavara.

Na slici 58 može se vidjeti geometrija lijevog i desnog zavara dobivenog MAG postupkom te su podaci dani u tablici 20.

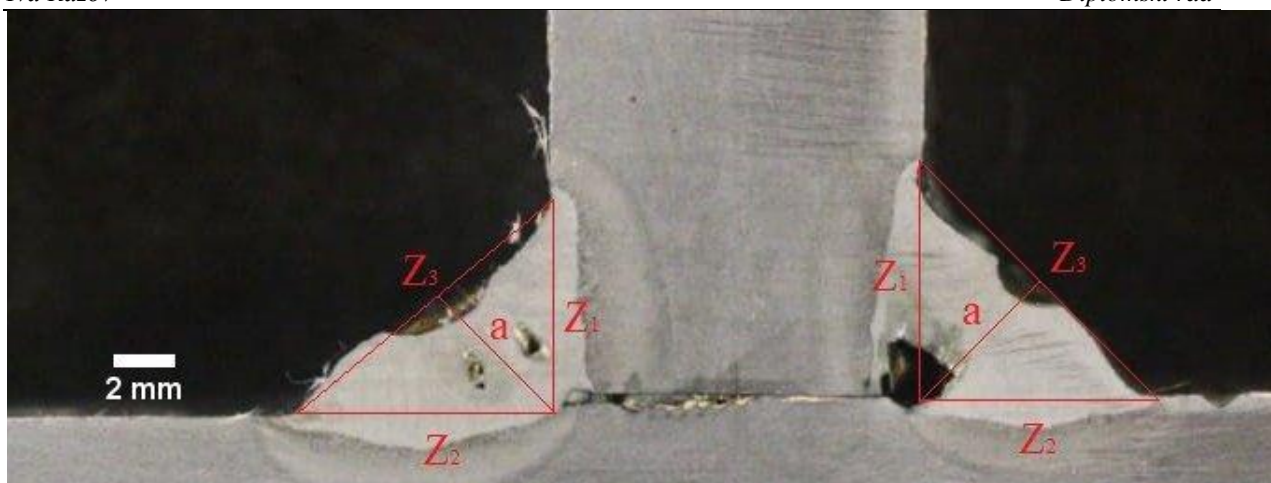


Slika 58. Analiza geometrije zavara makrouzorka 1 (MAG)

Tablica 20. Prikaz veličina izmjerenih na makrouzorku 1, mm (MAG)

OZNAKA	LIJEVO	DESNO
Z <sub>1</sub>	6,518	5,436
Z <sub>2</sub>	6	7,703
Z <sub>3</sub>	8,963	8,851
a	4,46	4,256

Na slici 59 može se vidjeti geometrija lijevog i desnog zavara dobivenog FCAW postupkom.



**Slika 59. Analiza geometrije zavora makrouzorka 2 (FCAW)**

Tablica 21 prikazuje veličine geometrijskih značajki na makrouzorku 2.

**Tablica 21. Prikaz veličina izmjerenih na makrouzorku 2, mm (FCAW)**

OZNAKA	LIJEVO	DESNO
$Z_1$	6,846	6,906
$Z_2$	8,199	7,065
$Z_3$	10,597	9,978
$a$	5,207	5,123

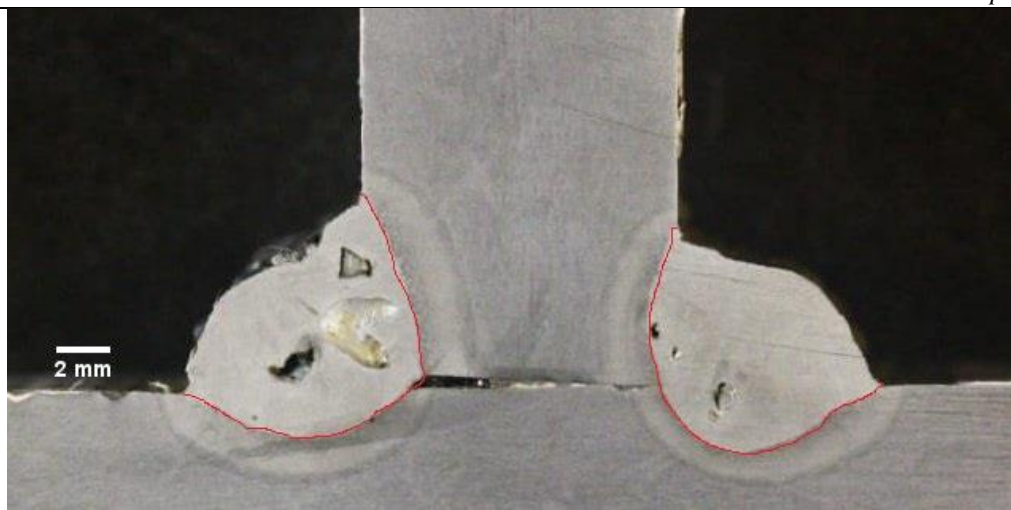
Iz prikazanih podataka se može vidjeti kako kod tri od četiri zavora postoji greška nesimetričnog kutnog zavora. Jedini zavar koji donekle zadovoljava uvjet simetričnosti je lijevi zavar kod makrouzorka 1 s razlikom od 0,518 mm. Makrouzorak 1 zadovoljava zahtjeve norme sa  $Z_2 = 6$  mm. Najkritičnijom se pokazala desna strana makrouzorka 1 s razlikom od 2,267 mm između  $Z_1$  i  $Z_2$ .

Pogreška nesimetričnog kutnog zavora najčešće nastaje kao posljedica neispravnog nagiba pištolja tijekom zavarivanja. Kako se ovdje radi o obostranom zavarivanju, utjecaj bi mogla imati i ista veličina struje zavarivanja na obje strane iako se kod drugog zavarivanja materijal već ugrijao. Smanjenje struje zavarivanja i veći razmak između zavarivanja bi mogao biti faktor koji bi utjecao na poboljšanje simetričnosti kod desnog zavora.

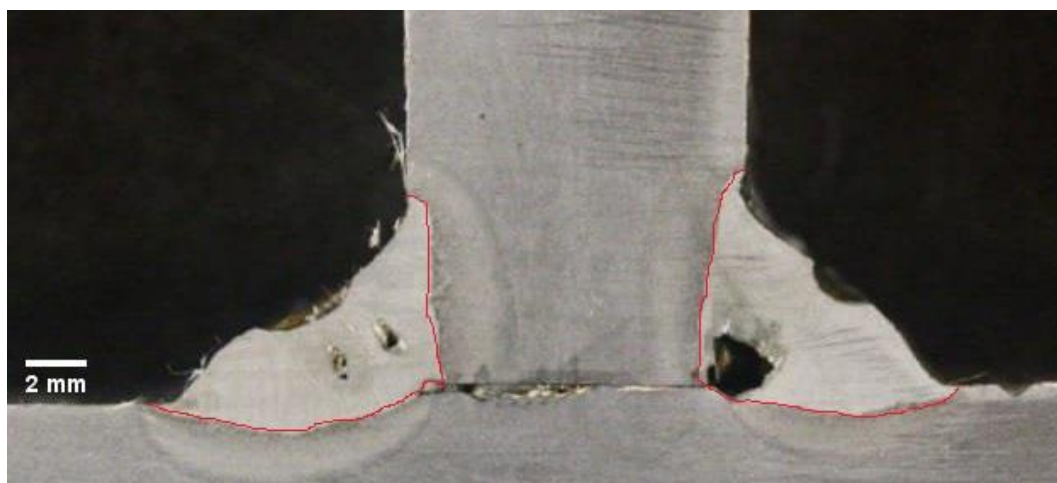
Kod makrouzorka 2 se može vidjeti povećanje svih dimenzija što navodi na to da bi se trebali prilagoditi parametri zavarivanja, navedeni u normi za MAG, FCAW postupku.

Uz geometriju zavora, izmjerena je i prikazana površina metala zavora pomoću programa Image J što je prikazano na slikama 60 i 61 i u tablici 22.





Slika 60. Prikaz konture zavora makrouzorak 1 (MAG)



Slika 61. Prikaz konture zavora makrouzorak 2 (FCAW)

Tablica 22. Usporedba površina metala zavora

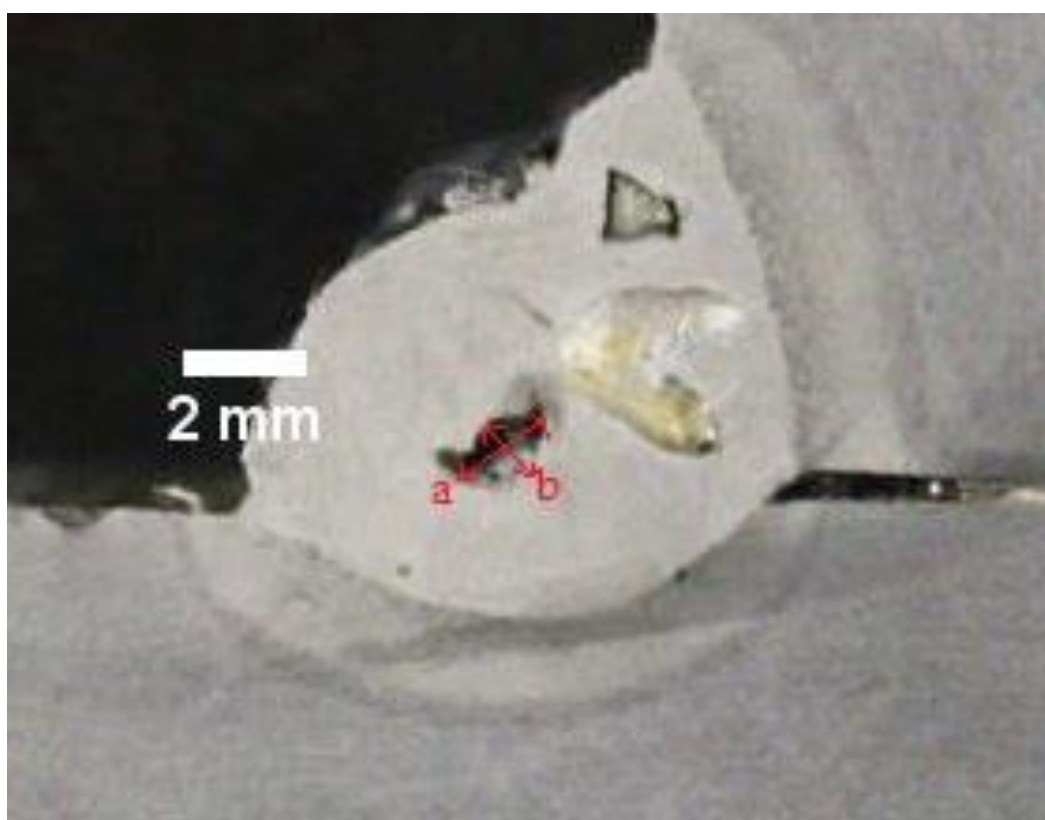
Makrouzorak 1 (MAG)		Makrouzorak 2 (FCAW)	
LIJEVO	DESNO	LIJEVO	DESNO
45,246 mm <sup>2</sup>	40,176 mm <sup>2</sup>	38,383 mm <sup>2</sup>	37,466 mm <sup>2</sup>
RAZLIKA POVRŠINA			
5,07 mm <sup>2</sup> = 11,25 %		0,917 mm <sup>2</sup> = 2,38%	

Analizom je vidljivo kako u oba slučaja prolaz s lijeve strane ima veće dimenzije. To je ujedno i strana koja se zavarivala druga po redu tijekom postupka obostranog zavarivanja što znači da je komad već bio značajno ugrijan zbog već unesene topline, to bi se moglo uzeti kao razlog

neujednačenih dimenzija i oblika. Zavarivanje MAG postupkom je dalo očekivano pravilniji oblik zavora, ali je razlika između površina dva suprotna zavora veća. FCAW ima ujednačenije dimenzije dvaju zavora, ali puno nepravilniji oblik. Kako bi se smanjio unos topline na upotrebljenom izvoru struje (FCAW) u ovom radu je potrebno smanjiti brzinu dovođenja žice. Sama razlika između lijeve i desne strane zavora je veća kod MAG zavarivanja (11,25%), nego li kod FCAW zavarivanja (2,38%).

Daljnjom analizom makrouzoraka pomoću programa ImageJ izmjerene su dimenzije većih greški kod uzoraka 1 i 2.

Detalj pogreške na makrouzorku 1 je prikazan na slici 62.



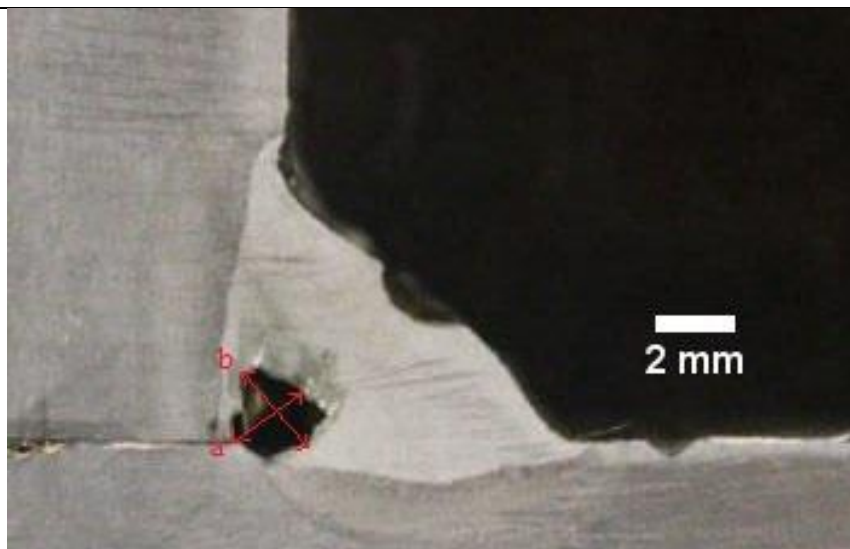
**Slika 62. Detalj pogreške u zavaru, makrouzorak 1 (MAG), lijevo**

U tablici 23 su prikazane dimenzije pogreške u zavaru na makrouzorku 1.

**Tablica 23. Dimenzije pogreške u zavaru, makrouzorak 1 (MAG), lijevo**

a	1,831 mm
b	0,933 mm

Detalj pogreške na makrouzorku 2 je prikazan na slici 63.



**Slika 63. Detalj pogreške u zavaru, makrouzorak 2 (FCAW), desno**

U tablici 24 su prikazane dimenzije pogreške u zavaru na makrouzorku 2.

**Tablica 24. Dimenzije pogreške u zavaru, makrouzorak 2 (FCAW), desno**

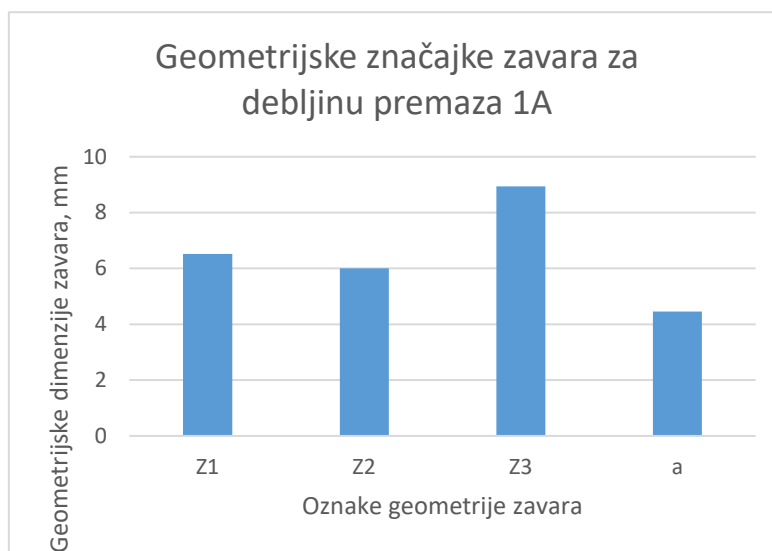
a	1,971 mm
b	2,305 mm

Kod makrouzorka 2 desno se nalazi najveća i jedina greška na zavaru, tu je vjerojatno riječ o uključku troske ili lokalnoj pori velikih dimenzija. No ne može se isključiti mogućnost poroznosti u tom slučaju zbog velikih dimenzija greške.

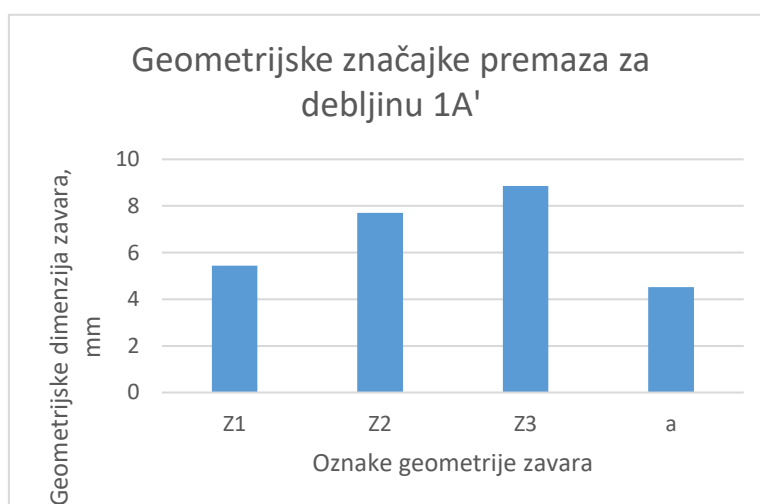
Makrouzorak 1 ima veći broj nepravilnosti, ali manjih dimenzija, ponajviše na desnoj strani. Na lijevoj strani zavara mogu se vidjeti znakovi poroznosti. Kod desne strane se zbog manjih dimenzija vjerojatno radi isto o poroznosti ili manje moguće uključcima u zavaru.

Nepravilnost samog oblika zavara i većih dimenzije grešaka u zavaru makrouzorka 2 ukazuje na prijeko potrebnu prilagodbu parametara struje kod zavarivanja po normi ISO 17652 – 2 za FCAW postupak zavarivanja koja bi se po mogućnosti trebala umanjiti. Makrouzorak 2 ima veću količinu površinskih pora koje znaju nastati nakon što se električni luk ustabili poslije paljenja, ali to zna rezultirati i dalje zavarom dobre kvalitete što tu nije slučaj. Stoga bi uzrok mogao biti i to što se na površini metala zavara javlja troska koja je onemogućavala izlazak plinskih mjehurića iz metala zavara. FCAW postupak je dao manju količinu nepravilnosti u metalu zavara što može biti rezultat praška iz FCAW žice koji je odreagirao na plinove koji su se javili u metalu zavara.

Makrouzorak 1 zavaren MAG postupkom ima pravilniji oblik zavora koji i zadovoljava normu na lijevoj strani. No ima veći broj manjih unutarnjih grešaka. Rješenje bi se moglo naći u boljoj pripremi površine i pojačanju struje kod prolaza na strani koja se prva zavaruje, ali bi se morala smanjiti za zavar na suprotnoj strani ili bi se trebalo povećati vrijeme između dva zavora zbog unešene topline u osnovni materijal. Kako bi se dobio što simetričniji kutni zavar potrebno je preciznije namjestiti pištolj za zavarivanje i potruditi se zadržati položaj u istoj poziciji za obostrano zavarivanje.



**Slika 64.** Geometrijske značajke zavora za debljinu premaza 1A ( 94,54  $\mu\text{m}$ )



**Slika 65.** Geometrijske značajke zavora za debljinu premaza 1A' (112,5  $\mu\text{m}$ )

Na slikama 64 i 65 su prikazane geometrijske značajke zavora kod MAG zavarivanja za dvije različite debljine temeljnog premaza.



Kod debljine 1A koja iznosi 94,54  $\mu\text{m}$  vidi se veća usklađenost dimenzija Z1 i Z2, gdje Z2 iznosi kako nalaže norma (6 mm), dok se Z1 razlikuje za 0,518 mm. Također je dimenzija a koja bi trebala biti prema normi 4,24 mm, a ovdje iznosi 4,46 mm dosta zadovoljavajuća.

Za debljinu 1A' koja iznosi 112,5  $\mu\text{m}$  dobiveni su očekivano lošiji rezultati, što je veća debljina premaza to je sam postupak zavarivanja zahtjevniji. Razlika između dimenzija Z1 i Z2 iznosi 2,267 mm što znači da se dobio zavar neprihvatljivog i nepravilnog oblika, dok dimenzija a također odskaka za 0,6 mm.

## 8. ZAKLJUČAK

Diplomskim radom je obrađena problematika zavarivanja preko temeljnih premaza vodeći se normom HRN EN ISO 17652. Zavarivanje preko temeljnih premaza je jedno od najznačajnijih postupaka u tijeku izgradnje broda što utječe i na samu cijenu. S vremenom su se promijenili uvjeti upotrebe i nanošenja temeljnog premaza, što se najviše odnosi na trajnost radioničke zaštite, čime se ubrzala gradnja broda i povećala produktivnost. Unatoč i dalje najučestalijoj upotrebi cink-silikatnog premaza u brodogradnji zbog sve zahtjevnijih zakona o poštivanju okoliša dolazi do razvoja druge generacije temeljnih premaza na bazi vode koji bi trebali zadovoljiti i tehnološke i ekološke uvjete.

U ovom radu je obrađen utjecaj dvokomponentnog epoksi premaza na zavar, navedeni premaz ne nalazi svoje mjesto među temeljnim premazima koji su u učestaloj upotrebi u brodograđevnoj industriji. Stoga ne čudi pojava vanjskih i unutarnjih pora pogotovo kod FCAW postupka zavarivanja, dok se kod MAG postupka pojava vanjskih pora uglavnom zadržala na očekivanom mjestu paljenja električnog luka. Nanesene su veće debljine premaza što poboljšava zaštitu od korozije, ali otežava samo zavarivanje. Trebalo bi se uzeti u obzir kako, od strane proizvođača, preporučena najveća debljina suhog premaza iznosi 35  $\mu\text{m}$  dok je u ovom radu najveća nanesena debljina bila 112,5  $\mu\text{m}$  (MAG), a najmanja 80,9  $\mu\text{m}$  (FCAW). Ponajviše je kod FCAW postupka došlo do značajnog ispuštanja dimova i neugodnih mirisa što negativno utječe na samo radno okruženje u industriji. No eksperimentalni rad i laboratorijska ispitivanja su provedena uz neke pretpostavke i pojednostavljena stoga je konačne rezultate potrebno razmotriti i uzeti više kao smjernicu.

Radom i analizom uzoraka je utvrđeno kako se kod MAG zavarivanja uz držanje parametara normi potrebno usredotočiti i na detaljnije pozicioniranje pištolja zavora zbog njegovog utjecaja na geometriju zavora. Nastale greške je moguće eliminirati budućom boljom pripremom površine i eventualnom promjenom struje zavarivanja u drugom prolazu ovisno o količini unesene topline u radni komad. Usporedbom dviju različitih debljina temeljnog premaza zaključeno je kako se manje debljine bolje prilagođavaju postupku zavarivanja i daju prihvatljivije rezultate.

FCAW postupak zavarivanja je dao značajno lošije rezultate zavarivanja koji uključuju i vanjske i unutarnje pore većih dimenzija te porozitet. S obzirom na upotrebu praškom punjene žice potrebno je staviti veći fokus na kontrolu i prilagodbu debljine premaza, ali i vrste premaza. Potrebno je smanjenje parametara struje u usporedbi s MAG zavarivanjem. Utvrđeno je kako

---

direktan prijenos parametara iz norme s MAG postupka na FCAW postupak zavarivanja nije primjenjiv te je parametre potrebno optimizirati.

Trebalo bi izvršiti detaljnija ispitivanja na većem broju uzoraka i s detaljnijom analizom debljine temeljnog premaza kako bi se pronašli odgovarajući parametri zavarivanja za FCAW postupak koji bi i dalje zadovoljavali zahtjevanu kvalitetu zavara.

**LITERATURA**

- [1] <https://www.fsb.unizg.hr/kziha/sorta2004d.pdf>, dostupno 23.4.2021.
- [2] <https://www.iso.org/standard/33399.html>, dostupno 23.4.2021.
- [3] Juraga I., Stojanović I., Remenar M., Rakić H., Hrvoje, Usporedba svojstva epoksi i cink silikatnih temeljnih radioničkih premaza. Comparison of epoxy and zinc - silicate shopprimer properties. In: 7. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2013, Slavonski Brod, Hrvatska.
- [4] Juraga, I., Stojanović I., Šimunović V., Nikolić M., Radionički temeljni premazi i njihov utjecaj na zavarivanje - osvrt na brodogradnju. Tehnološki primjena postupaka zavarivanja i zavarivanju srodnih tehnika u izradi konstrukcija i proizvoda. Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2007. str. 107-115
- [5] Premazi, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007
- [6] [https://www.steelconstruction.info/Paint\\_coatings#Zinc\\_epoxy\\_primers](https://www.steelconstruction.info/Paint_coatings#Zinc_epoxy_primers), dostupno 10.6.2021.
- [7] Berendsen, A.M. : Ship painting manual, Verfinstitut TNO, Delft, 1975.
- [8] [https://bib.irb.hr/datoteka/749408.TEORIJSKE\\_OSNOVE\\_1-1\\_skripta.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/749408.TEORIJSKE_OSNOVE_1-1_skripta.pdf), dostupno 10.6.2021.
- [9] M.W. Hindmarsh, The development of water based shop primers, Shipbuilding technology ISST, Osaka, 2007.
- [10] [http://www.geocities.ws/icts\\_papers/Papers/Drazic,%20Stojan,%20Kulenovic.pdf](http://www.geocities.ws/icts_papers/Papers/Drazic,%20Stojan,%20Kulenovic.pdf), dostupno 26.4.2021.
- [11] <https://www.kholeblastpaint.com/product/Steel-Plate-Auto-Shot-Blast-Machine.html>, dostupno 12.6.2021.
- [12] <http://apmmarinegroup.com/bingo4.aspx>, dostupno 12.6.2021.
- [13] <http://ranginzereh.com/wp-content/uploads/brochurs/Hempel-Shopprimers.pdf>, dostupno 12.6.2021.
- [14] <https://www.pcimag.com/articles/104079-sherwin-williams-launches-organic-zinc-rich-epoxy-coating>, dostupno 12.6.2021.
- [15] <https://www.blastkingtec.com/Product/shot-blasting-and-priming-machine/>, dostupno 12.6.2021.
- [16] <https://www.hempel.com/hr-hr/proizvodi/hempels-galvosil-15700-15700>, dostupno 12.6.2021.
- [17] <https://www.promain.co.uk/hempel-galvosil-15700.html>, dostupno 12.6.2021.

- [18] G. Mathers, "The welding of aluminium and its alloys." CRC Press ; Woodhead Pub., Boca Raton, Fla.; Cambridge, England, 2002.
- [19] <https://hrcak.srce.hr/94796>, dostupno 20.6.2021.
- [20] [https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_MIGGMAWire\\_s-SuperArc-SuperArcL-56/c4200.pdf](https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_MIGGMAWire_s-SuperArc-SuperArcL-56/c4200.pdf), dostupno 20.6.2021.
- [21] Horvat M., Kondić V., Brezovečki D.: Opravdanost primjene MAG forcearc postupka zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija, Tehnički glasnik 8, 3(2014), 288-294
- [22] ASM Handbook Volume 06A Welding Fundamentals and Processes. Ohio: ASM International, 2011.
- [23] <https://www.generalair.com/2018/10/pulsed-mig-to-pulse-or-not-to-pulse/>, dostupno 30.6.2021.
- [24] Marijan Rudan, Zavarivanje nehrđajućih čelika MIG impulsnim postupkom, 4. Seminar, Čelici otporni na koroziju, Pula, 2007.
- [25] <https://www.neit.edu/blog/fcaw-welding>, dostupno 25.6.2021.
- [26] <https://studentlesson.com/flux-cored-arc-welding-fcaw-definition-applications-diagram-working-advantages-and-disadvantages/>, dostupno 25.6.2021.
- [27] Zavarivanje-ispitivanje radioničkih temeljnih premaza u odnosu na zavarivanje i srodne postupke- 2. dio: Zavarivačka svojstva radioničkih temeljnih premaza (ISO 17652-2:2003)
- [28] <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+10278%3A2007>, dostupno 26.4.2021.
- [29] [https://www.steelconstruction.info/Surface\\_preparation](https://www.steelconstruction.info/Surface_preparation), dostupno 24.4.2021.
- [30] <https://www.alatimilic.hr/shop/Mjerni-listici-Fervi-0212>, dostupno 24.4.2021.
- [31] [https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/vr\\_spo.pdf](https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/vr_spo.pdf), dostupno 24.4.2021.
- [32] [https://www.researchgate.net/publication/315891538\\_VRSTE\\_I\\_OZNAKE\\_KONSTRUKCIJSKIH\\_CELIKA\\_PREMA\\_NOVOJ\\_EUROPSKOJ\\_NORMI\\_GRADES\\_AND\\_DESIGNATIONS\\_OF\\_STRUCTURAL\\_STEELS\\_BY\\_NEW\\_EUROPEAN\\_STANDARD](https://www.researchgate.net/publication/315891538_VRSTE_I_OZNAKE_KONSTRUKCIJSKIH_CELIKA_PREMA_NOVOJ_EUROPSKOJ_NORMI_GRADES_AND_DESIGNATIONS_OF_STRUCTURAL_STEELS_BY_NEW_EUROPEAN_STANDARD), dostupno 1.7.2021.
- [33] <http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/158/>, dostupno 1.7.2021.
- [34] <https://servus.hr/proizvodi/zavarivanje/migmag-zavarivanje/welbee-p-400/>, dostupno 1.7.2021.
- [35] <https://www.ezg.hr/proizvodi/kiswel/K71.html>, dostupno 1.7.2021.

---

**PRILOZI**

- I. Specifikacije premaza isporučene s uzorcima – proizvođač Helios

## TEHNIČKE INFORMACIJE



HELIOS TRILUS d.o.o.  
 Kollevo 65 • 1230 Domžale, Slovenija  
 T +386 1 722 40 00 F +386 1 722 43 10

**SHOP primer E**

Epoksidni radionički premaz

**OPIS PROIZVODA**

- SHOP primer E je dvokomponentni temeljni premaz na osnovi epoksidnog veziva i poliamidaminskog utvrđivača
- Sadrži inhibitore korozije i cink fosfat kao aktivni antikorozijski pigment
- Visoko je kvalitetan radionički premaz za privremenu zaštitu čeličnih konstrukcija
- Prikladan je za zaštitu čeličnih i pocinčanih površina, aluminija kao i ostalih obojenih metala
- Odlikuje se brzim sušenjem
- Upotrebljiv i kao temeljni premaz u kombinaciji sa širokim spektrom pokrivnih premaza
- Omogućava aplikaciju pokrivnog premaza sistemom "mokro na mokro"
- Omogućava naknadno zavarivanje bez utjecaja na kvalitetu vara (certifikat Lloyd's Register of Shipping)

**PODRUČJA UPORABE**

Samostalno se koristi kao radionički premaz za privremenu zaštitu novih pjeskarenih površina različitih čeličnih konstrukcija i za industrijsko lakiranje, gdje je tijekom transporta i montaže potrebna kvalitetna antikorozijska zaštita.

Omogućava naknadno zavarivanje bez utjecaja na kvalitetu vara do debljine suhog filma 25 µm.

Prikladan za privremenu izloženost agresivnoj industrijskoj i morskoj atmosferi.

**PRIPADAJUĆE KOMPONENTE**

Razrjeđivač: Razrjeđivač E M  
 THINNER 21-05  
 Utvrđivač – kom.B: Shop primer E  
 HARDENER 10-15

**PODACI O PROIZVODU**

Tip	2K-epoksi-poliamidamin adukt
Pot life A+B pri 20°C	min. 8 sati
Omjer miješanja A:B	
Volumenski	1.25:1
Težinski	2:1
Gustoća komponente A	1,3-1,4 kg/l
Gustoća A+B u obliku isporuke	1.1-1.2 kg/l
Nijansa	oksidnocrvena siva
Izgled	Mat
Suha tvar A+B u obliku isporuke	
Volumenski	29 %
Težinski	40 %
VOC za A+B u obliku isporuke	690 g/l
Temperatura postojanost (suha temperatura)	
Kratkotrajno	do 140 °C
Dugotrajno	do 120 °C

Debljina nanosa / Izdašnost	Maksimalna	Preporučena
Debljina suhog filma	30 µm	25 µm
Debljina mokrog filma	105 µm	90 µm
Teoretska izdašnost	9,7 m <sup>2</sup> /l	11,6 m <sup>2</sup> /l

Sušenje	10°C	20°C	30°C
Suh na prašinu	20 minuta	10 minuta	8 minuta
Suh na dodir	40 minuta	20 minuta	15 minuta
Presušen	13 dana	8 dana	6 dana

Međuslojni razmak pri 25 °C	
Premazi na bazil otapala	
Minimalni	10 minuta
Maksimalni	neograničen

T3-1.02-SHOP primer E-HRVAT  
 Str: 1/2  
 Revizija br.: 7

Datum izrade: 28.08.19

**PRIPREMA PODLOGE**

Čelične površine trebaju biti suhe, čiste, bez masnoća, korozivskih produkata i ostalih nečistoća. Preporučujemo pjeskarenje po standardu ISO 8501 do stupnja Sa 2,5. Hrapavost novih površina: 25-50 µm. Pocičane površine, aluminij i ostale obojene metale treba odmastiti, blago prebrusiti i očistiti. Na pocičanim površinama treba odstraniti tragove "bijeleg hrđe".

**UVJETI NANOŠENJA**

Minimalna temperatura pri aplikaciji: +10 °C.  
Relativna vlažnost zraka od 20% do 85%.  
Temperatura površine mora biti najmanje 3 °C iznad točke rosišta.

**NAPUTAK ZA UPORABU**

Prije uporabe potrebno je dobro promiješati.

**BEZRAČNO ŠTRCANJE**

Razrjeđivanje: nije potrebno  
Otvor mlaznice: 0,28 - 0,33 mm  
0,011 - 0,013 inch  
Izlazni pritisak: 12 - 15 MPa

**ZRAČNO ŠTRCANJE**

Razrjeđivanje: nije potrebno  
Otvor mlaznice: 1,3 - 1,5 mm  
Izlazni pritisak: 0,3 - 0,5 MPa

**KIST/VALJAK**

Razrjeđivanje: nije potrebno

Nanosi se kistom ili valjkom samo na manje površine i za potrebe lokalnog popravljivanja. Kod nanošenja kistom ili valjkom za postizanje je propisane debljine suhog filma potrebno nanošenje više slojeva, nego kod nanošenja štrcanjem. Postotak dodanog razrjeđivača ovisi o temperaturi boje. Navedeni se podatak odnosi na temperaturu boje 20 °C.

**PREMAZNI SUSTAVI**

Premazne sustave odabiremo obzirom na klimatska opterećenja, sukladno preporukama standarda EN ISO 12944

Preporučljivi temeljni premaz:

REZISTOL temeljna boja E ZP  
REZISTOL temeljna boja E ZP HS  
REZISTOL temeljna boja E ZP MIOX  
REZISTOL temeljna boja E ZP HS MIOX  
REZISTOL temeljna boja E HS  
REZISTOL temeljna boja E HS MIOX

U slučajevima kada se SHOP PRIMER E koristi kao temeljni premaz preporučuju se pokrivni premazi:

Preporučljivi pokrivni premazi:

REZISTOL emajl KA  
REZISTOL emajl VA  
REZISTOL emajl AV  
REZISTOL emajl E dbs  
REZISTOL emajl E dbs MIOX  
REZISTOL E HS  
REZISTOL E HS AL  
REZISTOL EFA  
REZISTOL ESS  
REZISTOL PT AS  
REZISTOL emajl 2K PUR  
AGROHEL emajl 2K PUR

Za aplikaciju ostalih temeljnih i pokrivnih premaza potražite savjet u HELIOS-u.

**USKLADIŠTENJE**

24 mjeseca pri temperaturi do +35 °C.

**SIGURNOSNI NAPUTCI**

Vidi Sigurnosni list i etiketu proizvoda.

**NAPOMENE**

Za svaku šaržu boje izdajemo odgovarajuće izvješće kontrole kvalitete. Tehničke informacije su rezultat znanja koje temelji na laboratorijskom radu i praktičnim iskustvima. U slučaju uporabe premaza izvan naše kontrole, odgovornost ne možemo preuzeti i jamčimo samo za kvalitetu premaza. Pridržavamo sva prava na promjenu podataka bez prethodne obavijesti. Sustav kvalitete usklađen je s EN ISO 9001.