

KVALITETA PRIPREME I IZVEDBE ZAVARENIH SPOJEVA

Daniel Klanjac, Toni Vidolin, Željko Vučković, Duško Pavletić

Ključne riječi: priprema spoja, dodatni materijal, troškovi zavarivanja

Sažetak:

Učinkovitost i racionalizacija svih proizvodnih postupaka jedan je od osnovnih organizacijskih ciljeva brodogradilišta. Pri tome je zavarivanje postupak koji zahtijeva značajne resurse te svako odstupanje u smislu prekoračenja minimalno dovoljnih veličina zavarenog spoja može značajno povećati troškove. Stoga se u ovom radu razmatra važnost kvalitetne pripreme i izvedbe spoja te utjecaj istih na troškove zavarivanja.

QUALITY OF JOINT PREPARATION AND WELDING

Key words: weld joint preparation, deposit material, test coupon, welding costs

Abstract:

Efficiency and rationalization of production processes is one of the basic organizational goals of shipyards. The welding, as one of main production processes in shipbuilding, requires considerable resources, so any deviation in terms of exceeding the minimum size of welded joints, resulting in excessive welding, significantly increase costs. Therefore, this paper discusses the importance of good joint preparation and welding and the impact thereof on the cost of welding.

1. UVOD

Brodogradilište 3. MAJ je, u proteklom periodu bilo angažirano na gradnji većeg broja teglenica za prijevoz nafte (slika 1). Teglenice ovog tipa tehnološki i izvedbeno razmijerno su jednostavnii objekti koji se izrađuju u većem broju uz viši stupanj ponavljanja. Stoga je, kod gradnje takvih objekata, učinkovitost i racionalizacija svih proizvodnih postupaka jedan je od osnovnih organizacijskih ciljeva brodogradilišta.

Pri tome je zavarivanje postupak koji zahtijeva značajne resurse te svako odstupanje u smislu prekoračenja minimalno dovoljnih veličina zavarenog spoja može značajno nepotrebno trošenje resursa i, posljedično, povišenje troškova. Stoga se u ovom radu razmatraju utjecaji pripreme i izvedbe spoja na troškove, odnosno uočena odstupanja od propisanog na povećanje ukupnih troškova zavarivanja.

U radu je analizirana kvaliteta pripreme žlijeba, te dosljednost u provedbi zavarivanja sukladno propisanim procedurama zavarivanja, a posebice dimenzija izvedenog zavarenog spoja. U korelaciju su dovedeni osnovni parametri pripreme i izvedbe spoja kao što su zračnost u zavarenom spoju, kut otvora žlijeba, nadvišenje kod sučeonog zavara i visina kutnog zavara s utroškom dodatnog i pomoćnog materijala, utroškom energenata i vremena za izvođenje zavarivanja.

U prvom dijelu rada su izračuni razmatranih utrošaka svedeni na jediničnu dužinu zavarenog spoja, a u nastavku radu su prikazani i u ukupnom iznosu vezano uz jedan objekt, u ovom slučaju teglenicu za prijevoz nafte. Prilikom gradnje teglenice koriste se različite debljine limova, od 7 mm do 17 mm, no najzastupljeniji su limovi debljine 8 mm i 10 mm pa su izračuni utrošaka napravljeni i prikazani za ove dvije debljine i to za sučeone i kutne zavare izvedene ručnim ili poluautomatskim postupkom zavarivanja.



Slika 1. Porinuće teglenice za prijevoz nafte, Brodogradilište 3. MAJ

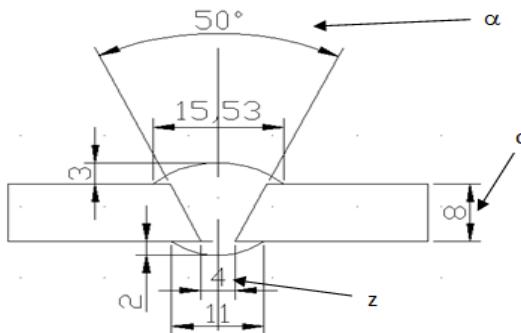
2. ANALIZA MONTAŽNIH SPOJEVA

Glavninu spojeva koji se koriste kod montaže elemenata teglenice predstavljaju sučevni jednostrani V spoj te klasični kutni spoj. Zavarivanje ovih spojeva izvodi se MAG i REL postupkom zavarivanja sukladno odgovarajućim uputama za zavarivanje (WPS). U nastavku su prikazana oba spoja s osnovnim dimenzijama te je izračunata i tablično prikazana površina poprečnog presjeka spoja, jedinična masa šava kao i masa dodatnog materijala potrebnog za zavarivanje jednog metra spoja. Također, tablično je prikazana i jedinična količina radnih sati potrebnih za izvođenje zavarivanje.

2.1 Sučevni jednostrani V spoj

Površina poprečnog presjeka sučevnog jednostranog V spoja dobivena je na način da se izračunata teorijska površina poprečnog presjeka spoja, bez nadvišenja, uvećava za procijenjeni udio povećanja poprečnog presjeka uslijed nadvišenja na licu i korijenu zavara. Iako ovo uvećanje zbog nadvišenja može znatno varirati i ovisi o samoj izvedbi zavarivanja i debljinama limova koji se zavaruju, procijenjeno je, temeljem iskustva, da je u slučajevima zavarivanja limova od 8 i 10 mm ovaj dodatak značajan i u prosjeku se kreće oko visokih 70%. Zavarivanje se, kod ovog spoja, izvedi MAG postupkom.

Uputom za zavarivanje propisana je minimalna zračnost u spoju i ona iznosi $z = 4 \text{ mm}$, dok je najveća dopuštena zračnost u spoju, prema IACS No. 47, $z = 1,5d \text{ mm}$ (slika 2). [1]



Slika 2. Osnovni dimenzijski parametri sučeljenog spoja za limove debljine 8 mm

Elementi sučeljenog spoja:

d = debljina lima, mm

z = zračnost, mm

α = kut otvora žlijeba - 50°

Polazeći od minimalno dovoljnih dimenzija pripreme spoja te postupno povećavajući zračnost u okviru dopuštenih veličina, za dvije vrijednosti kuta otvora žlijeba i za pojedinu debljinu lima, izračunato je i u tablici 1. i tablici 2. prikazano povećanje potrebne mase nataljenog materijala za formiranje šava, procjena potrebne količine dodatnog materijala odnosno, u ovom slučaju, žice i utrošak efektivnih sati (ES). Izračuni su napravljeni za zavare duljine 1 m.

Iz danih tablica jasno je vidljivo povećanje potrebne mase dodatnog materijala, koje primjerice za slučaj zavarivanja lima debljine 8 mm i povećanje zračnost zavara sa 4 mm na 8 mm iznosi 52% kod manjeg kuta otvora žlijeba, odnosno 47% kod većeg kuta otvora žlijeba. Kada je povećanje zračnosti zavara još izraženije, pa tako ono iznosi najviše dopuštenih 12 mm za lim debljine 8 mm, povećanje mase potrebnog dodatnog materijala iznosi 104% kod manjeg kuta otvora žlijeba odnosno 94% kod većeg kuta otvora žlijeba. Dakle, relativno malim povećanjem zračnosti u žlijebu značajno se utječe na potrebnu količinu dodatnog materijala a time, naravno, i na ukupne troškove zavarivanja takvih spojeva.

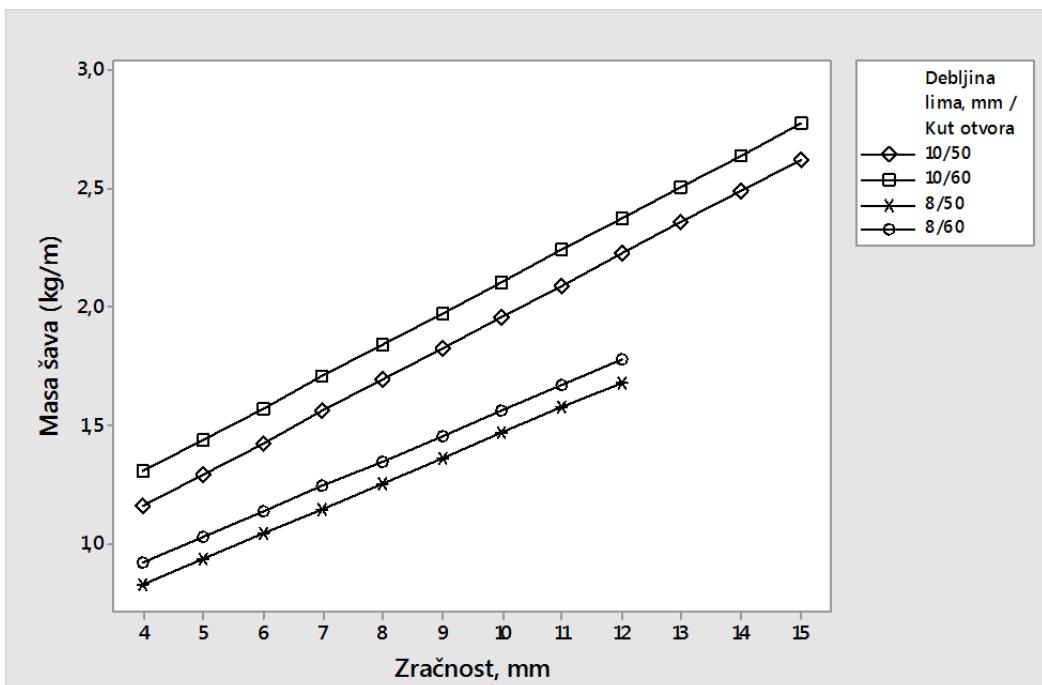
Tablica 1. Masa žice za zavarivanje sučeonog spoja lima debljine 8 mm

Zračnost z (mm)	Kut otvora žlijeba $\alpha = 50^\circ$			Kut otvora žlijeba $\alpha = 60^\circ$			ES/m
	Površina šava (mm^2)	Masa šava (kg/m)	Masa žice (kg/m)	Površina šava (mm^2)	Masa šava (kg/m)	Masa žice (kg/m)	
4	105,13	0,83	0,99	117,22	0,92	1,10	1,30
5	118,73	0,93	1,12	130,82	1,03	1,23	1,44
6	132,33	1,04	1,25	144,42	1,13	1,36	1,58
7	145,93	1,15	1,37	158,02	1,24	1,49	1,72
8	159,53	1,25	1,50	171,62	1,35	1,62	1,86
9	173,13	1,36	1,63	185,22	1,45	1,74	2,02
10	186,73	1,47	1,76	198,82	1,56	1,87	2,16
11	200,33	1,57	1,89	212,42	1,67	2,00	2,30
12	213,93	1,68	2,02	226,02	1,77	2,13	2,44

Tablica 2. Masa žice za zavarivanje sučeonog spoja lima debljine 10 mm

Zračnost z (mm)	Kut otvora žlijeba $\alpha = 50^\circ$			Kut otvora žlijeba $\alpha = 60^\circ$			ES/m
	Površina šava (mm^2)	Masa šava (kg/m)	Masa žice (kg/m)	Površina šava (mm^2)	Masa šava (kg/m)	Masa žice (kg/m)	
4	147,27	1,16	1,39	166,15	1,30	1,57	1,47
5	164,27	1,29	1,55	183,15	1,44	1,73	1,61
6	181,27	1,42	1,71	200,15	1,57	1,89	1,75
7	198,27	1,56	1,87	217,15	1,70	2,05	1,89
8	215,27	1,69	2,03	234,15	1,84	2,21	2,04
9	232,27	1,82	2,19	251,15	1,97	2,37	2,18
10	249,27	1,96	2,35	268,15	2,10	2,53	2,32
11	266,27	2,09	2,51	285,15	2,24	2,69	2,47
12	283,27	2,22	2,67	302,15	2,37	2,85	2,61
13	300,27	2,36	2,83	319,15	2,51	3,01	2,76
14	317,27	2,49	2,99	336,15	2,64	3,17	2,90
15	334,27	2,62	3,15	353,15	2,77	3,33	3,05

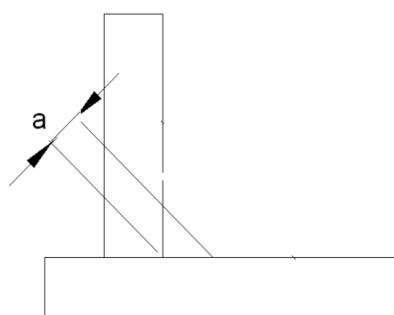
Na slici 3 grafički je prikazana ovisnost volumena šava o zračnosti u korijenu šava za dvije debljine zavarivanih limova: 8 mm i 10 mm. Iako je ova ovisnost linearna i po svojoj prirodi vrlo jednostavna za izračunavanje, bitno je naglasiti činjenicu kod svih uključenih u pripremu spojeva za zavarivanja da povećanje zračnosti u korijenu spoja već od „samo nekoliko milimetara“ značajno povećava potrebne količine dodatnog materijala, utrošenih radnih sati, potrošenih energenata i, općenito, troškova zavarivanja.



Slika 3. Masa šava u ovisnosti o zračnosti zavara za različite debljine lima i kuta otvora

2.2 Kutni spoj

Dimenzija kutnog spoja definirana je visinom najvećeg jednakokračnog pravokutnog trokuta koji se može upisati u poprečni presjek šava, stoga bilo koje odstupanje od pravilnosti, u smislu nesimetričnosti te nadvišenja šava predstavlja nepotreban utrošak materijala te dodatne, nepotrebne troškove zavarivanja. Površina poprečnog presjeka kutnog šava izračunava se kao površina spomenutog upisanog trokuta uz uvećanje od 10% zbog nadvišenja šava. Skica kutnog spoja prikazana je na slici 4, gdje je a = visina kutnog šava, mm.



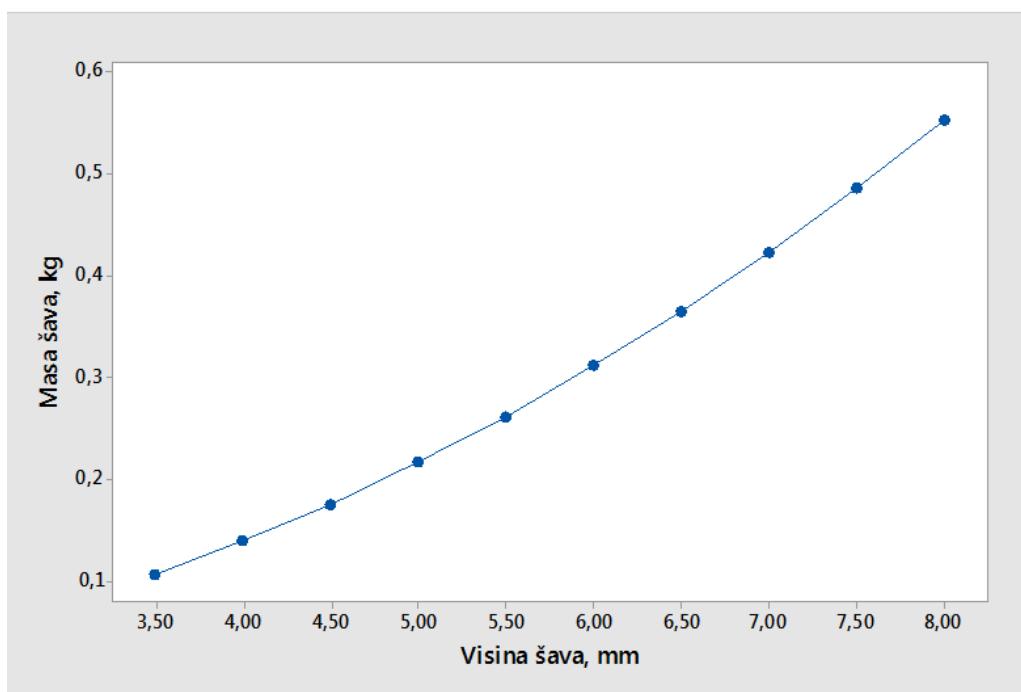
Slika 4. Skica kutnog spoja

Slijedeći analogiju izračuna kao i za slučaj sučeljnog spoja, proveden je izračun poprečnih presjeka šavova kutnih spojeva za više vrijednosti debljina šava, te je izračunata masa šava za dužni metar kao i potrebna količina dodatnog materijala.

Za svaki razmatrani slučaj određeni su i efektivni radni sati potrebni za zavarivanje jednog metra šava. Zavarivanje se izvodi REL postupkom, visokoučinskom elektrodom. Izračunate vrijednosti prikazane su u tablici 3 i na slici 5.

Tablica 3. Potrebna masa dodatnog materijala u ovisnosti o visini šava

Visina zavara a (mm)	Površina šava (mm ²)	Masa šava (kg)	Masa dodatnog materijala (kg)	ES/m
3,5	13,48	0,11	0,14	0,20
4,0	17,60	0,14	0,19	0,24
4,5	22,28	0,17	0,24	0,27
5,0	27,50	0,22	0,29	0,32
5,5	33,28	0,26	0,35	0,37
6,0	39,60	0,31	0,42	0,39
6,5	46,48	0,36	0,49	0,45
7,0	53,90	0,42	0,57	0,51
7,5	61,88	0,49	0,66	0,58
8,0	70,40	0,55	0,75	0,64



Slika 5. Masa šava u ovisnosti o visini kutnog šava za 1m kutnog spoja

Kao i kod sučeonog spoja, jasno je vidljivo značajno povećanje količine nataljenog materijala odnosno mase šava s povećanjem visine šava. Tako, primjerice, povećanje visine šava sa 3,5 mm na

5,5 mm, tj. povećanje visine šava od 57% povećava masu šava za 136%, a time i ukupne troškove zavarivanja takvog spoja.

3. ANALIZA TROŠKOVA ZAVARIVANJA U OVISNOSTI O PROMJENI ZRAČNOSTI

Na primjeru teglenice za prijevoz nafte (*engl. Oil Barge*) bit će prikazano povećanje troškova zavarivanja ovisno o promjeni zračnosti, kutu otvora žlijeba i visini kutnog zavara prema tehnološkoj dokumentaciji [2]. Efektivni sati (ES) određeni su uz pretpostavku da su svi zavareni spojevi, i sučeljni i kutni, izvedeni u vodoravnom položaju, a normativi su za rad na navozu (tablica 4).

Glavne dimenzije odabrane teglenice su:

- duljina preko svega: 59,48 m, širina: 16,00 m, visina: 4,60 m, gaz: 3,35 m
- kapacitet tankova tereta: 2550 m³.

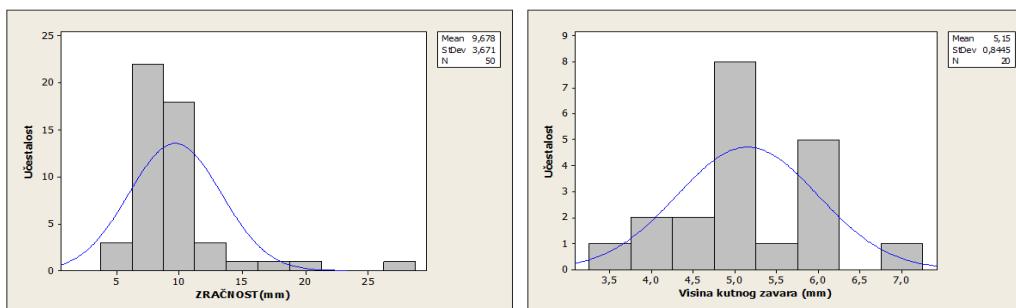
Na slici 6 prikazana je razdioba zračnosti izmjerena na sučeonim spojevima na odabranoj teglenici. Ukupno je izvršeno 50 mjerena i to na pozicijama dvodna, lijevog dvoboka na vanjskoj oplati, lijevog dvoboka s unutrašnje strane tanka, korugirane pregrade, krova dvodna, te privremenih otvora na dvodnu. Iako je za očekivati da će se prosječne vrijednosti zračnosti donekle razlikovati ovisno o poziciji spoja, za potrebe ove analize sve vrijednosti su uprosjećene.

Tablica 4. Planirana potrošnja dodatnog materijala i planirani utrošak efektivnih sati prema tehnološkoj dokumentaciji

Planirani parametri	z, a (mm)	Duljina zavara (m)	Dodatni mat. (kg)	Utrošak ES
debljina lima d=8mm	4	1.625,0	1.609	2.113
debljina lima d=10mm	4	904,0	1.257	1.329
visina kutnog zavara	3,5	15.000,0	2.100	3.000
visina kutnog zavara	5	600,0	174	192
	Ukupno	18.129,0	5.139	6.633

Vidljivo je da je većina izvedenih zračnosti se kreće u rasponu od 6 mm od 12 mm. Kod limova debljine 8 mm, zračnosti veće od 12 mm zahtijevaju doradu prije zavarivanja. Srednja vrijednost zračnosti, za izmjerene slučajeve iznosi 9,68 mm.

Na slici 7. prikazana je razdiobe visina zavara izmjerena na kutnom spoju na 20 uzoraka. Može se uočiti da se većina izvedenih visina kutnog zavara nalazi u rasponu od 4 od 7 mm. Srednja vrijednost visine kutnog zavara, za izmjerene slučajeve, iznosi 5,15 mm.



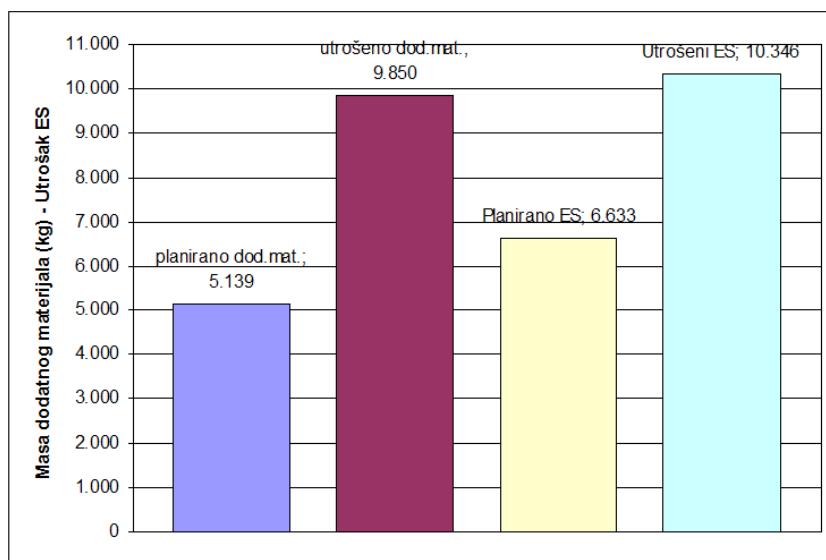
Slika 6. Srednja vrijednost učestalosti zračnosti sučeonog spoja

Slika 7. Srednja vrijednost učestalosti visine kutnog zavara

Usporedbom utroška potrebnih resursa za minimalnu zračnost od 4 mm kod sučeljnih spojava i visinu kutnog zavara od 3,5 mm, tablica 4, s potrebnim resursima za prosječno izvedenu zračnost od 9,67 mm (142% više) i visinu kutnog zavara od 5,15 mm (47% više) može se zaključiti da je potrošnja dodatnog materijala veća za 92% i veći utrošak ES za 56% više od planiranog (tablica 5. i slika 8.)

Tablica 5. Izvedena potrošnja dodatnog materijala i stvarni utrošak ES

Izvedeni parametri	z, a	Duljina zavara	Dodatni mat.	Utrošak
	mm	m	kg	ES
debljina lima d=8mm	9,67	1.625,0	3.039	3.510
debljina lima d=10mm	9,67	904,0	2.287	1.844
visina kutnog zavara	5,15	15.600,0	4.524	4.992
	Ukupno	18.129,0	9.850	10.346



Slika 8. Usporedba planiranog i stvarno potrebnog dodatnog materijala i utroška ES

4. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran utjecaj kvalitete pripreme sučeonih spojeva te izvedbe zavarivanja kutnih spojeva na troškove zavarivanja. Priprema spojeva za zavarivanje, iako tehnološki nisko zahtjevna aktivnost, ima značajan utjecaj na povećanje troškova kod zavarivanja. Stoga je potrebna, prije svega, visoka razina zadovoljavanja postavljenih zahtjeva na točnost i dimenzije pripreme spojeva. Uzimajući u obzir ukupne dimenzije brodova i objekata morske tehnologije, jednostavno je previdjeti važnost „nekoliko milimetara“ u pripremi spoja za zavarivanje ili „milimetar - dva“ kod visine kutnog spoja.

Tome u prilog ide i činjenica da je u praksi izuzetno teško postići projektirane parametre pripreme zavarenog spoja na velikim trodimenzionalnim sekcijama na svim pozicijama, a naročito kod manjih debljina limova gdje su sva odstupanja izraženija nego dok debljih limova. Ipak, povećanje parametara pripreme spojeva za zavarivanje već od samo 1 mm, tj. povećanje zračnosti spoja sa 4 mm na 5 mm i povećanje visine kutnog zavara sa 3,5 mm na 4,5 mm donosi povećanje potrošnje dodatnog materijala za 42% i povećanje utroška radnih sati za 20%.

Uzimajući u obzir količine zavarenih spojeva na brodograđevnim objektima, ovakav potencijal za uštedu se nikako ne smije zanemariti.

4. LITERATURA

- [1] No.47 Shipbuilding and Repair Quality Standard, Rev. 7, 2013., www.iacs.org.uk/
- [2] Klanjac, D., Vidolin, T., Vučković, Ž., Pavletić, D., Utjecaj pripreme i izvedbe spoja na troškove zavarivanja, XXI. simpozij Teorija i praksa brodogradnje in memoriam prof. Leopold Sorta, CD, Baška, 2014.