

B. Sabo*, J. Alanović**

ORIGINALNI NAUČNI RAD

UTICAJ POVRŠINE PLASTIČNE ZONE NA OPŠTU
DEFORMACIJU T-NOSAČA***

THE INFLUENCE OF PLASTIC ZONE AREA ON THE GENERAL
DEFORMATION OF T-GIRDER

Summary

The results of investigation of the influence of plastic zone area on the general deformation of welded T-girder are represented in this article. The plastic zone area has been determined from the analysis of macro-section and represents actual value in comparison to calculating values by N.O. Okerblom. Basing on the experimental results two relations have been analysed: between actual and calculating values of plastic zone area and between elastic line curvature and actual values of plastic zone area.

Welding procedure was MMA with various heat input amounts. Covered electrodes with different diameters (2,5; 3,25; 4,0; 5,0 mm) have been used. The current of welding, arc voltage and active welding time have been measured during process, while the girder's deflection after finishing welding. After that specimens for macro-section were cut out. Measured and calculated values are tabled and graphic.

Basing on the relations previously mentioned the equation for elastic line curvature determination depending on the calculating plastic zone area was deduced.

*Sabo dr Bela, dipl.ing., docent

**Alanović Jadranko, dipl.ing., asistent

Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo,
21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

***Rad je finansirao SIZ za naučni rad Vojvodine

Rezime

U radu su prikazani rezultati istraživanja uticaja površine plastične zone na opštu deformaciju zavarenog T-nosača. Površina plastične zone određena je na osnovu analize makroizbruska zavarenog spoja i predstavlja stvarnu površinu za razliku od računске vrednosti koja se određuje prema formuli Okerbloma. Na osnovu eksperimentalnih rezultata istražena je korelacija između stvarne i računске vrednosti površine plastične zone, kao i zavisnost krivine elastične linije nosača od stvarne površine plastične zone.

Zavarivanje je izvršeno REL postupkom sa različitim pogonskim energijama. Upotrebljene su obložene elektrode prečnika 2,5: 3,25; 4,0 i 5,0 mm. U toku zavarivanja merena je struja zavarivanja, napon luka i aktivno vreme zavarivanja. Posle zavarivanja izmereni su ugibi na sredini nosača, a zatim su isečeni uzorci za makroizbruske. Merene i izračunate vrednosti su prikazane tabelarno i grafički.

Na osnovu definisanih zavisnosti određena je jednačina za računsko određivanje krivine elastične linije nosača bazirana na izračunavanju površine plastične zone.

1.0. UVOD

Deformacija zavarenog elementa zavisi od površine plastične zone. Površina plastične zone A_{pl} se može orediti analizom makroizbruska zavarenog spoja. U radu je prikazano istraživanje uticaja površine plastične zone na krivinu elastične linije zavarenog T-nosača. Analizirana je i zavisnost površine plastične zone A_{pl} , određene analizom makroizbruska, od površine plastične zone A_{vl} koja je računski određena prema N.O.Okerblomu /1/. Računska metoda prikazana u radu uporediće se sa približnom računskom metodom Okerbloma za određivanje krivine elastične linije zavarenog T-nosača i sa eksperimentalnim rezultatima.

2.0. CILJ ISTRAŽIVANJA

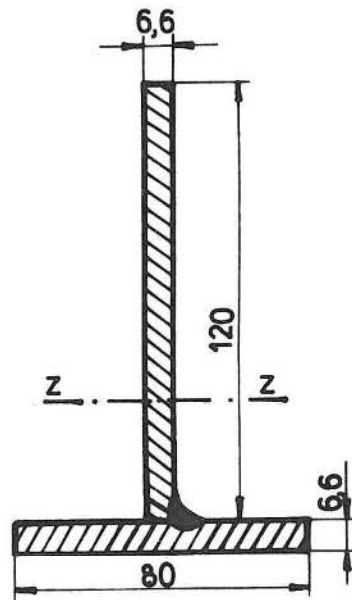
Cilj istraživanja se sastojao u određivanju korelacije između krivine elastične linije nosača i površine plastične zone. Određivanjem zavisnosti površine A_{pl} od površine A_{vl} moguće je stvarnu krivinu elastične linije izraziti u funkciji površine A_{vl} koja se računski određuje prema Okerblomu.

Upoređenjem računskih i eksperimentalnih rezultata proveriće se primenljivost dobijenih jednačina za računsko određivanje krivine elastične

linije nosača.

3.0. OPIS EKSPERIMENTA

Za eksperimentalno istraživanje pripremljeni su laboratorijski uzorci u obliku T-nosača dimenzija prema Slici 1.



Slika 1. Dimenzije T-nosača
Figure 1. T-girder's dimensions

Dužina uzoraka je iznosila $L=600$ mm, a pripremljeno je 12 uzoraka. Materijal nosača: brodski lim /2/.

U TABELI 1. prikazani su parametri režima REL zavarivanja ugao-nih šavova T-nosača. Zavarivanje je izvedeno sa transformatorom za REL zavarivanje. Struja zavarivanja (I) je izmjerena amper klješćima a napon luka (U) univerzalnim mernim instrumentom. Aktivno vreme zavarivanja (t) izmjereno je hronometrom. Zavarivanje je izvršeno na temperaturi $T_0=20^{\circ}\text{C}$.

TABELA 1. TABLE 1

T-nosač	d_e (mm)	I (A)	U (V)	t (s)	v (cm/s)	q_p (J/cm)	$10f$ (cm)	$10^4 C_e$ (1/cm)
1,2,3	2,5	90	25	243	0,247	7288	0,40	0,889
4,5,6	3,25	140	28	199	0,301	10419	0,52	1,156
7,8,9	4,0	180	28	183	0,328	12293	0,68	1,511
10,11,12	5,0	240	27	185	0,324	16000	0,72	1,600

Brzina zavarivanja izračunava se iz izraza:

$$v = \frac{L}{t}, \quad \text{cm/s} \quad (1)$$

gde je: L - dužina nosača, u cm

t - aktivno vreme zavarivanja, u s

Pogonska energija se izračunava prema izrazu /1/, /3/:

$$q_p = \frac{I \cdot U \cdot \eta}{v}, \quad \text{J/cm} \quad (2)$$

gde je: I - struja zavarivanja, u A

U - napon luka, u V

v - brzina zavarivanja, u cm/s

η - efektivni koeficijent korisnog dejstva zavarivačkog luka,
 $\eta=0,8$

Ugaoni šavovi izvedeni su obloženom elektrodom prečnika 2,5; 3,25; 4,0 i 5,0 mm. Vrednosti struje zavarivanja, napona luka, aktivnog vremena zavarivanja, brzine zavarivanja i pogonske energije u tabeli 1. su srednje vrednosti tri ponavljanja za isti prečnik elektrode. Posle izvršenog zavarivanja izmerene su vrednosti ugiba, a zatim su izrezani uzorci za makroizbruske. Vrednosti krivine elastične linije C_e izračunate su prema:

$$C_e = f_e \cdot \frac{8}{L^2}, \quad 1/\text{cm} \quad (3)$$

gde je: f_e - izmereni ugib, u cm

L - dužina nosača, u cm

Na slici 2. prikazan je crtež makroizbruska T-nosača zavarenog elektrodom prečnika 4,0 mm.

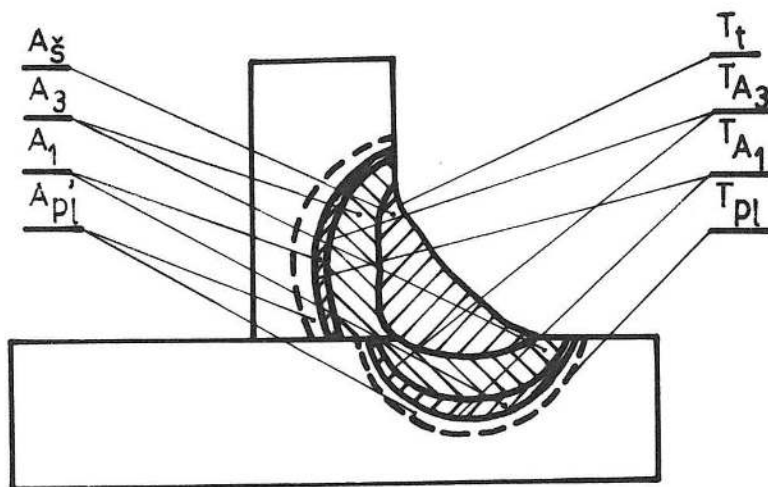
Izoterme koje su na slici označene linijama su /4/:

T_t - temperatura topljenja (1520°C)

T_{A3} - temperatura završetka prelaza $\alpha \rightarrow \gamma$ (850°C)

T_{A1} - temperatura početka prelaza $\alpha \rightarrow \gamma$ (727°C)

T_{pl} - temperatura iznad koje se metal nalazi u plastičnom stanju (600°C)



Slika 2. Crtež makroizbruska T-nosača ($d = 4,0$ mm)
 Figure 2. Picture of T-girder's macro-section^e ($d_e = 4,0$ mm)

Površine označene na slici su /4/:

- A_g - površina omeđena linijom T_t
- A_3 - površina omeđena linijama T_t i T_{A3}
- A_1 - površina omeđena linijama T_{A3} i T_{A1}
- A'_{pl} - površina omeđena linijama T_{A1} i T_{pl}

4.0. REZULTATI EKSPERIMENTA

Izračunavanje krivine elastične linije nosača prema približnoj računskoj metodi Okerbloma vrši se prema /1/, /3/:

$$C_o = \mu \cdot q_p \cdot \frac{y}{I_z}, \quad 1/\text{cm} \quad (4)$$

gde je: μ - konstanta materijala zavisna od odnosa q_p/A , u cm^3/J

q_p - pogonska energija ugaonog šava, u J/cm

y - rastojanje ugaonog šava od ose z-z, u cm

I_z - moment inercije poprečnog preseka nosača za osu z-z, u cm^4 .

Površina plastične zone A_{vl} određuje se prema /1/, /3/:

$$A_{vl} = \frac{1}{\frac{1}{A} + \frac{y^2}{I_z} - \frac{\epsilon_v/\mu}{q_p}}, \quad \text{cm}^2 \quad (5)$$

gde je: A - površina poprečnog preseka nosača, u cm^2

μ , y , I_z , q_p - kao u jednačini (4)

$\epsilon_v = 0,0012$ - konstanta materijala

Sada se precrtavanjem granica površina A_s , A_3 i A_1 na transparentni milimetarski papir određuje njihova veličina /4/. Posmatraće se sledeće površine:

A_s - površina omeđena linijom T_t

$A_3' = A_s + A_3$

$A_1' = A_s + A_3 + A_1$

Zavisnosti veličina ovih površina i odgovarajućih temperatura (T_t , T_{A3} , T_{A1}) za četiri prečnika elektrode prikazane su na slici 3. Približne zavisnosti su sledećeg oblika:

$$T = a \cdot A^b, \quad ^\circ\text{C} \quad (6)$$

gde je: A - površina, u cm^2

a i b - koeficijenti.

Na osnovu ovih zavisnosti izračunaće se površina plastične zone $A_{pl} = A_1' + A_{p1}'$ prema:

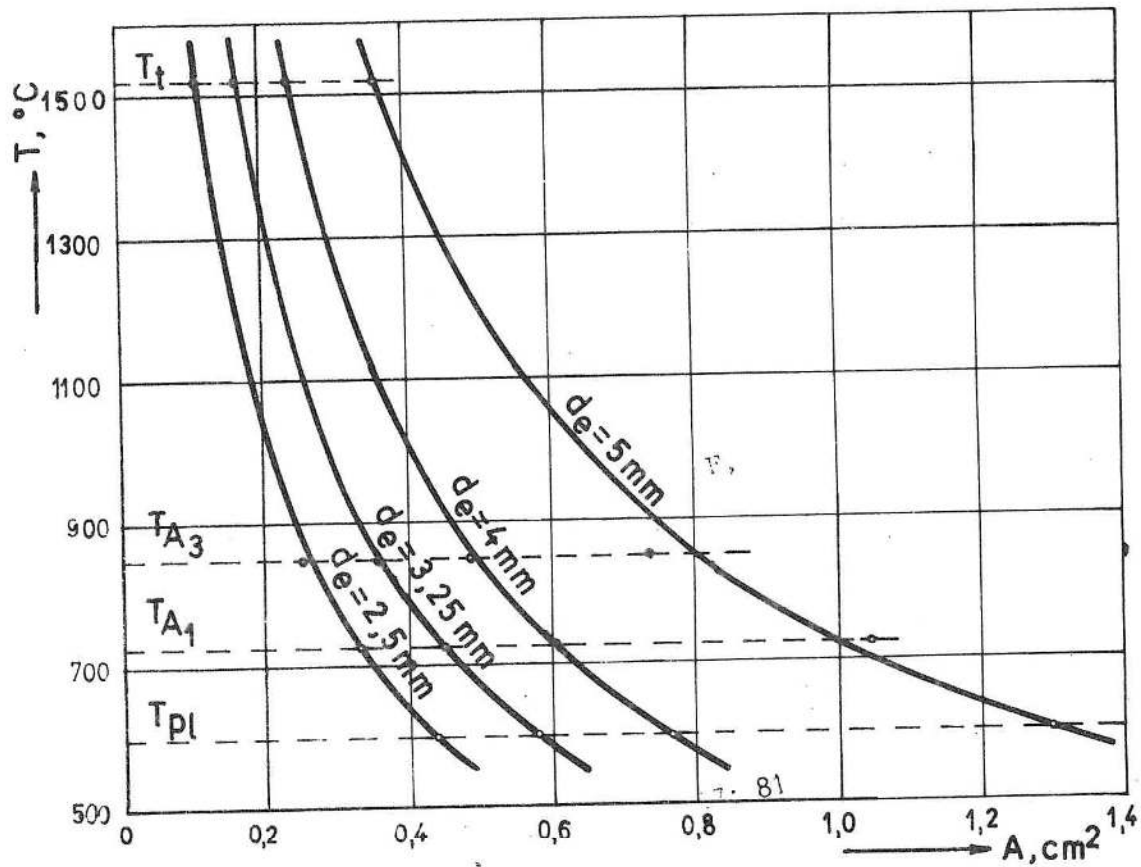
$$A = (a/T)^{1/b}, \quad \text{cm}^2 \quad (7)$$

uvrstavajući $T = 600^\circ\text{C}$ i odgovarajuće koeficijente a i b . Veličine površina A_s , A_3' , A_1' , koeficijenata a i b , površina A_{pl} određenih prema jednačini (7) i površina A_{v1} određenih prema jednačini (5) prikazane su u tabeli 2.

TABELA 2. TABLE 2.

T-nosač	A_s (cm^2)	A_3' (cm^2)	A_1' (cm^2)	a	$-b$	A_{p1} (cm^2)	A_{v1} (cm^2)
1,2,3	0,115	0,255	0,335	359	0,65	0,456	3,08
4,5,6	0,170	0,360	0,450	397	0,76	0,580	3,53
7,8,9	0,24	0,49	0,605	492	0,79	0,778	3,57
10,11,12	0,36	0,74	1,05	727	0,72	1,305	3,82

Na slici 4. prikazana je zavisnost $A_{pl} = f(A_{v1})$.



Slika 3. Zavisnost $T=f(A)$ za različite prečnike elektroda
 Fig.3. Dependence $T=f(A)$ for different diameters of electrodes

Približna zavisnost je sledeća:

$$A_{pl} = 0,44 e^{0,1(A_{v1}^{-3,53})} + 0,2 e^{5(A_{v1}^{-3,53})}, \quad \text{cm}^2 \quad (8)$$

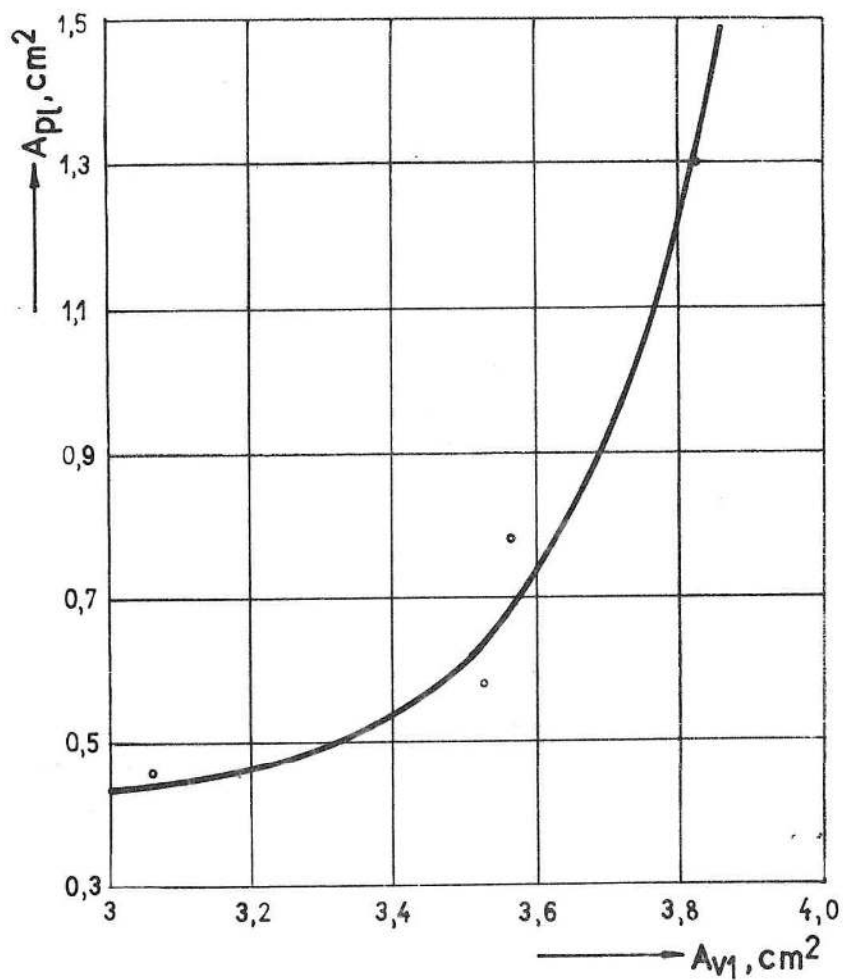
gde je: A_{v1} - površina određena prema jednačini (5), u cm^2

Približna zavisnost krivine elastične linije nosača od površine plastične zone A_{pl} je sledeća:

$$10^4 C_r = 0,77 + (A_{pl}^{-0,45})^{1/3}, \quad 1/\text{cm} \quad (9)$$

gde je: A_{pl} - površina određena prema jednačini (8) ili na osnovu analize makroizbruska, u cm^2 .

U tabeli 3. prikazane su vrednosti krivina elastičnih linija nosača izmerenih pri eksperimentu (C_e), izračunatih prema Okerblomu (C_o , jednačina (4)) i izračunatih prema jednačini (9), C_r .

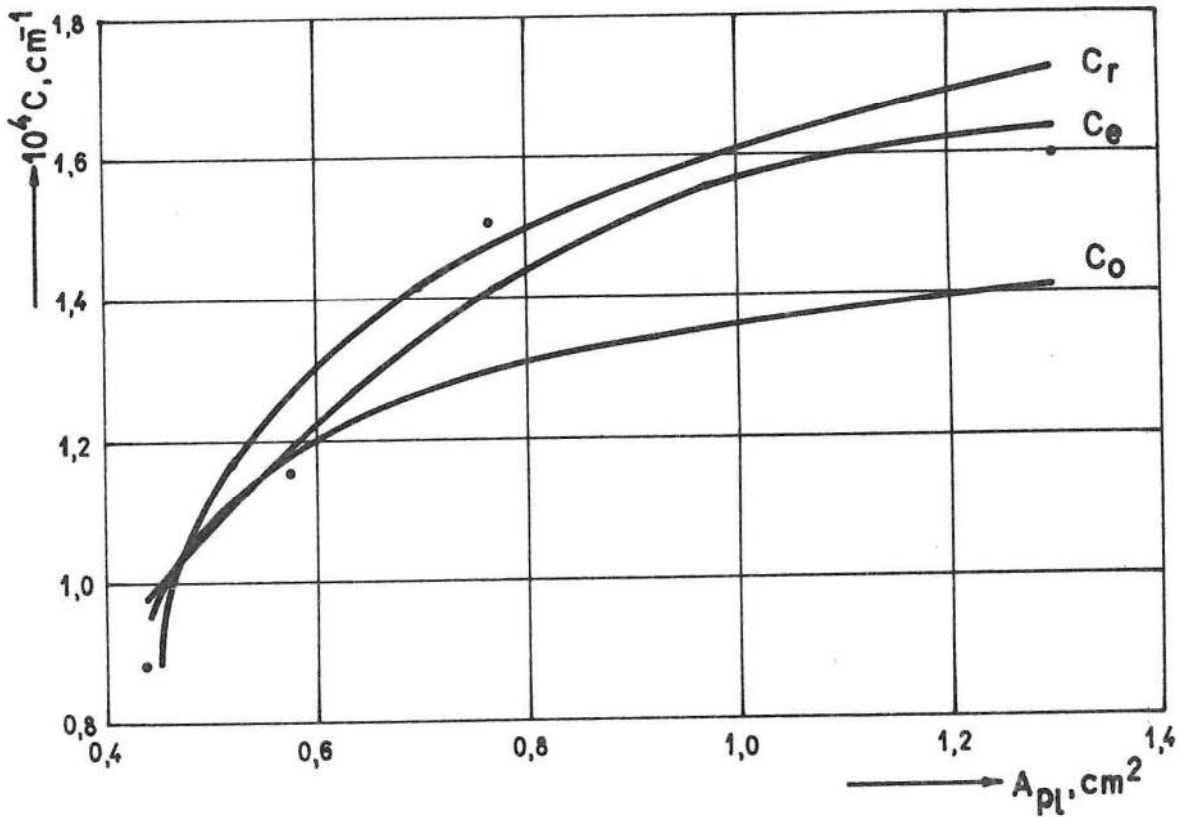


Slika 4. Zavisnost površine A_{p1} od površine A_{v1}
 Fig. 4. Dependence $A_{p1} = f(A_{v1})$

TABELA 3. TABLE 3.

T-nosač	A_{v1} (cm ²)	A_{p1} (cm ²)	$10^4 C_e$ 1/cm	$10^4 C_o$ 1/cm	$10^4 C_r$ 1/cm
1,2,3	3,08	0,456	0,889	0,962	0,952
4,5,6	3,53	0,580	1,156	1,222	1,277
7,8,9	3,57	0,778	1,511	1,244	1,460
10,11,12	3,82	1,305	1,60	1,422	1,719

Grafički prikaz ovih rezultata je na slici 5.



Slika 5. Zavisnost $C_e, C_o, C_r = f(A_{pl})$
 Fig.5. Dependences $C_e, C_o, C_r = f(A_{pl})$

5.0. ANALIZA REZULTATA EKSPERIMENTA

1. Pretpostavljena zavisnost $A=f(T)$, jednačina (6), daje rezultate računskog odredjivanja krivine elastične linije bliske eksperimentalnim za konkretan slučaj zavarivanja.

2. Pretpostavljena zavisnost $A_{pl}=f(A_{vl})$ daje rezultate računskog odredjivanja krivine elastične linije bliske eksperimentalnim i za različite geometrijske karakteristike poprečnog preseka i različite parametre zavarivanja.

3. U području većih površina plastične zone (većih pogonskih energija) rezultati računске metode Okerbloma znatnije odstupaju u odnosu na eksperimentalne rezultate. Rezultati računске metode prikazane u radu daju manja odstupanja.

6.0. ZAKLJUČAK

Primenom računске metode prikazane u radu moguće je izračunati deformaciju zavarenog nosača prethodno određivši površinu plastične zone A_{pl} .

Prvi način za određivanje površine A_{pl} je sledeći: izvrši se probno zavarivanje na uzorku, pa se iséče uzorak za makroizbrusak. Određivanjem veličine površina A_g , A'_3 i A'_1 sa makroizbruska moguće je postaviti zavisnosti $A=f(T)$ i na isti način kao u radu odrediti površinu plastične zone A_{pl} .

Drugi način je da se odredi površina A_{v1} , jednačina (5), pa se nakon toga odredi i površina A_{p1} , jednačina (8). Nakon toga se izračunava krivina elastične linije nosača, jednačina (9).

Prvi način za određivanja površine A_{p1} zahteva probno zavarivanje i izradu makroizbruska, ali daje tačnije rezultate za konkretan slučaj zavarivanja.

Drugi način je računska metoda koja daje uopštenije rezultate što je provereno i za različite poprečne preseke i parametre zavarivanja.

LITERATURA

- /1/ Okerblom N.O. i dr.: Proektirovanie tehnologii izgotovlenija svarnih konstrukcij, Leningrad, 1963.
- /2/ Sabo B.: Eksperimentalno i računsko određivanje ugiba zavarenih T-nosača, Zbornik radova IPM, br.5/6, Novi Sad, 1989.
- /3/ Palić V.: Zavarivanje, Univerzitetski udžbenik, Novi Sad, 1987.
- /4/ Sabo B., Alanović J.: Određivanje veličine pogonske energije (specifičnog unosa toplote) na bazi analize makroizbruska zavarenog spoja, Zavarivač, br. 1/2, Beograd, 1989.

Na korisnim sugestijama autori se zahvaljuju Prof.dr Inoslavu Raku, TF, Maribor i Prof.dr Leposavi Šidjanin, FTN, Novi Sad.