

<https://doi.org/10.24867/JPE-1989-06-129>

PRETHODNO SAOPŠTENJE

B. Sabo *

EKSPERIMENTALNO I RAČUNSKO ODREĐJIVANJE
UGIBA ZAVARENIH T-NOSAČA

Rezime

U radu je prikazana analiza metode N.O. Okerbloma za računsko određivanje ugiba zavarenih T-nosača. Upoređivanjem izračunatih i izmerenih vrednosti ostatnog ugiba izvodi se zaključak o tačnosti navedenih računskih metoda.

EXPERIMENTELE UND RECHNERISCHE BESTIMMUNG DER
DURCHBIEGUNG VON GESCHWEISSTEN T-TRÄGER

Zusammenfassung

Im Artikel ist die Analyse der Methode von N.O. Okerblom für rechnerische Bestimmung der Durchbiegung geschweissten T-Träger beschrieben. Auf Grund des Vergleiches zwischen rechnerischen und gemessenen Durchbiegungen wird die Genauigkeit von angewendete rechnerische Methode analysiert.

1.0. UVOD

Teorija deformacija i napona spada u složenije oblasti nauke o zavarivanju. Zbog složenosti problema određivanja ostatnog ugiba usled zavarivanja pretežno se primenjuju približne (inženjerske) računске ili eksperimentalne metode. Od približnih računskih metoda

*) Sabo Dr Bela, dipl.ing., docent - Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

najviše je u upotrebi grafoanalitička metoda N.O. Okerbloma /1/, /2/, /3/.

2.0. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja se sastojao u analizi tačnosti računске metode N.O. Okerbloma kod određivanja ostatnog ugiba T-nosača posle izvodjenja ugaonih šavova. Analizom je obuhvaćena metoda koja ne uzima u obzir postojanje početnog naponskog stanja kao i metoda koja uzima u obzir naponsko stanje obrazovanog ranije izvedenim ugaonim šavom. Rezultati računskog određivanja ugiba T-nosača posle izvodjenja ugaonih šavova upoređiće se sa eksperimentalnim rezultatima. Upoređivanjem izračunatih i izmerenih ugiba T-nosača izvešće se zaključak o tačnosti navedene računске metode. Računsko određivanje ugiba vršiće se za eksperimentalne T-nosače kod kojih su ugaoni šavovi zavareni REL postupkom sa različitim parametrima režima zavarivanja.

3.0. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE UGIBA T-NOSAČA

Eksperimentalna istraživanja su vršena na laboratorijskim uzorcima od brodskog lima JR-A. Kao laboratorijski uzorci formirano je dvanajst T-nosača dužine 600 mm, sa visinom rebra 120 mm, širinom pojasa 80 mm i debljinom rebra i pojasa 6 mm. Nosači su formirani zavarivanjem kratkih ugaonih šavova REL postupkom. Naponi stvoreni ovim šavovima uklonjeni su termičkom obradom. Zavarivanje ugaonih šavova T-nosača izvršeno je REL postupkom sa obloženom elektrodom EZ-11F, proizvođač "ELEKTRODA" Zagreb, prečnika 2,5; 3,25; 4 i 5 mm. U tabeli 1. prikazani su parametri REL zavarivanja. Struja zavarivanja je merena amper klještama. Napon luka je meren voltmetrom. Aktivno vreme zavarivanja je mereno hronometrom. Računska debljina ugaonog šava (a) merena je mernim šablonom. Ugib je meren na sredini nosača komparatorom tačnosti 0,01 mm. Rezultati izmerenih ugiba posle zavarivanja prvog (f_{1E}) i drugog ($f_{1,2E}$) šava prikazani su u tabeli 1. Ugib usled zavarivanja ugaonog šava 2 dobijen je iz izraza:

$$f_{2E} = f_{1,2E} - f_{1E} \quad , \quad \text{mm} \quad (1)$$

Tabela 1.

BROJ T-NOSAČA	d _e (mm)	I (A)	U (V)	t (s)	v (mm/s)	q _p (MJ/m)	a (mm)	k (mm)	f _{1E} (mm)	f _{1,2E} (mm)	f _{2E} (mm)	f _{1RA} (mm)	f _{1,2RA} (mm)	f _{2RA} (mm)	z _{1RB} (mm)	f _{1,2RB} (mm)	f _{2RB} (mm)
1	2,5	90	17,5	256	2,34	0,5378	2,5	3,5	0,49	0,69	0,20	-	-	-	-	-	-
2	2,5	90	17,5	239	2,51	0,5013	2,2	3,1	0,32	0,42	0,10	-	-	-	-	-	-
3	2,5	90	17,5	234	2,56	0,4912	2,2	3,1	0,40	0,52	0,12	-	-	-	-	-	-
SR. VRED.	2,5	90	17,5	243	2,47	0,5101	2,3	3,2	0,40	0,54	0,14	0,23	0,29	0,06	0,23	0,36	0,13
4	3,25	140	17,5	192	3,12	0,6285	2,6	3,7	0,41	0,53	0,12	-	-	-	-	-	-
5	3,25	140	17,5	199	3,01	0,6512	2,7	3,8	0,59	0,72	0,13	-	-	-	-	-	-
6	3,25	140	17,5	206	2,91	0,6739	2,8	3,9	0,55	0,78	0,23	-	-	-	-	-	-
SR. VRED.	3,25	140	17,5	199	3,01	0,6512	2,7	3,8	0,52	0,68	0,16	0,30	0,36	0,06	0,30	0,48	0,18
7	4,0	180	17,5	182	3,30	0,7636	3,2	4,6	0,70	0,98	0,28	-	-	-	-	-	-
8	4,0	180	17,5	183	3,28	0,7683	3,3	4,7	0,77	1,09	0,32	-	-	-	-	-	-
9	4,0	180	17,5	184	3,26	0,7730	3,4	4,8	0,58	0,84	0,26	-	-	-	-	-	-
SR. VRED.	4,0	180	17,5	183	3,28	0,7683	3,3	4,7	0,68	0,97	0,29	0,35	0,43	0,08	0,35	0,58	0,23
10	5,0	240	17,5	180	3,33	1,0092	3,8	5,4	0,82	1,13	0,31	-	-	-	-	-	-
11	5,0	240	17,5	192	3,12	1,0771	4,0	5,6	0,70	1,13	0,43	-	-	-	-	-	-
12	5,0	240	17,5	183	3,28	1,0247	4,2	5,9	0,64	1,00	0,36	-	-	-	-	-	-
SR. VRED.	5,0	240	17,5	185	3,24	1,0370	4,0	5,6	0,72	1,09	0,37	0,47	0,57	0,10	0,47	0,82	0,35

Brzina zavarivanja se izračunava iz izraza:

$$v = \frac{600}{t} \quad , \quad \text{mm/s} \quad (2)$$

Pogonska energija se izračunava iz izraza:

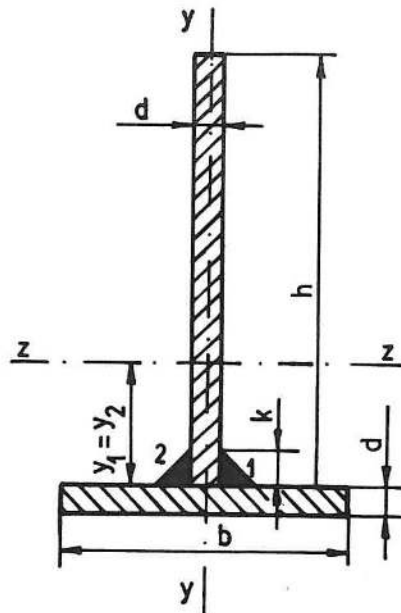
$$q_p = \frac{I \cdot U \cdot 0,8}{10^3 \cdot v} \quad , \quad \text{MJ/m} \quad (3)$$

Kateta šava se izračunava iz izraza:

$$k = \sqrt{2} \cdot a \quad , \quad \text{mm} \quad (4)$$

4.0. RAČUNSKO ODREĐIVANJE UGIBA T-NOSAČA NE UZIMAJUĆI U OBZIR POSTOJANJE POČETNOG NAPONSKOG STANJA USLED ZAVARIVANJA ŠAVA 1 /4/. (Metoda A)

Na slici 1. prikazan je poprečni presek T-nosača sa ugaonim šavovima 1 i 2 koji se izvode jedan za drugim.



Slika 1. Poprečni presek T-nosača

4.1. Ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 1

Ostatni ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 1 određuje se iz izraza:

$$f_{1RA} = C_1 \frac{l^2}{8} = \frac{\mu \cdot q_p \cdot y_1 \cdot l^2}{8 \cdot I_z}, \text{ m} \quad (5)$$

- gde je: C_1 - krivina nosača usled izvodjenja ugaonog šava 1, u 1/m.
 μ - konstanta materijala, u m^3/J
 q_p - pogonska energija ugaonog šava 1, u J/m.
 I_z - moment inercije poprečnog preseka T-nosača za osu z-z, u m^4 .
 l - dužina nosača, u m.
 y_1 - rastojanje ugaonog šava 1 od ose z-z, u m.

4.2. Ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 2

Ostatni ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 2 odredjuje se iz izraza:

$$f_{1,2RA} = C_{1,2} \frac{l^2}{8} = \frac{\mu \cdot m_{1,2} \cdot q_p \cdot y_{1,2} \cdot l^2}{8 \cdot I_z}, \text{ m} \quad (6)$$

- gde je: $C_{1,2}$ - krivina nosača usled naizmeničnog izvodjenja ugaonih šavova 1 i 2, u 1/m.
 $y_{1,2}$ - rastojanje ugaonih šavova 1 i 2 od ose z-z, u m.
 $m_{1,2}$ - odnos zona plastičnih deformacija

Odnos zona plastičnih deformacija odredjuje se iz izraza:

$$m_{1,2} = \frac{A_{v_{1,2}}}{A_{v_1}} = 1 + \frac{(k+d)d}{A_{v_1}} \quad (7)$$

- gde je: $A_{v_{1,2}}$ - površina zone plastične deformacije usled izvodjenja ugaonih šavova 1 i 2, u m^2 .
 A_{v_1} - površina zone plastične deformacije usled izvodjenja ugaonog šava 1, u m^2 .
 k - kateta ugaonih šavova, u m.
 d - debljina rebra i pojasa, u m.

Površina zone plastične deformacije usled izvodjenja ugaonog šava 1 odredjuje se iz izraza:

$$Av_1 = \frac{1}{\frac{1}{A} + \frac{(y_1)^2}{I_z} + \frac{14,2 \cdot 10^8}{q_p}}, \quad m^2 \quad (8)$$

gde je: A - površina poprečnog preseka T-nosača, u m²

Izraz (8) odnosi se na nosače od niskougļjениčnog čelika.

Rezultati izračunatih ugiba posle zavarivanja prvog (f_{1RA}) i drugog ($f_{1,2RA}$) šava prikazani su u tabeli 1. Ugib usled zavarivanja ugaonog šava 2 dobijen je iz izraza:

$$f_{2RA} = f_{1,2RA} - f_{1RA}, \quad m \quad (9)$$

5.0. RAČUNSKO ODREĐIVANJE UGIBA T-NOSAČA UZIMAJUĆI U OBZIR POSTOJANJE POČETNOG NAPONSKOG STANJA USLED ZAVARIVANJA ŠAVA 1 /4/. (Metoda B)

5.1. Ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 1

Ostatni ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 1 određuje se na osnovu izraza (5), odnosno postoji jednakost:

$$f_{1RA} = f_{1RB}, \quad m \quad (10)$$

5.2. Ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 2

Ostatni ugib T-nosača posle izvodjenja ugaonog šava 2 određuje se iz izraza:

$$f_{1,2RB} = C_{1,2} \frac{l^2}{8} = C_1 (\xi + n_2) \frac{l^2}{8}, \quad m \quad (11)$$

gde su: ξ i n_2 - koeficijenti zavisni od geometrijskih karakteristika preseka i pogonske energije

Koeficijent ξ određuje se iz izraza:

$$\xi = \frac{(d+k) \cdot d + 0,5 \cdot i (Av_1 - Av_2)}{Av_1} \quad (12)$$

gde je: $i = \frac{2d}{2d + d} = \frac{2}{3}$ - koeficijent koji uzima u obzir raspodelu toplote izmedju rebra i pojasa T-nosača

$$Av_2 = \frac{n_2 \cdot \mu \cdot q_p}{\epsilon_V (\beta_2 - 1)}, \quad m^2 \quad (13)$$

- površina plastične zone od šava 2 pri čemu je uzeto u obzir početno naponsko stanje.

Koeficijent n_2 odredjuje se na osnovu koeficijenta β_2 iz dijagrama $n = f(\beta_2) / 4$.

Koeficijent β_2 odredjuje se iz izraza:

$$\beta_2 = \frac{\Delta poč_2}{\epsilon_V} \quad (14)$$

gde je: $\Delta poč_2$ - umanjena početna deformacija usled zagrevanja šavom 2.

ϵ_V - elastična deformacija koja odgovara granici tečenja (za niskouglenični čelik $\epsilon_V = 12 \cdot 10^{-4}$)

Umanjena početna deformacija usled zagrevanja šavom 2 odredjuje se iz izraza:

$$\Delta poč_2 = \psi \left(\frac{1}{A} + \frac{y_1 \cdot y_2}{I_z} \right) \Sigma \lambda A_1 \quad (15)$$

gde je: ψ - koeficijent koji zavisi od geometrijskih karakteristika preseka i pogonske energije

$\Sigma \lambda A_1$ - zbir površina jediničnih toplotnih deformacija λ , u m^2

Koeficijent ψ odredjuje se iz izraza:

$$\psi = \frac{(d+k)d + (1-0,5 \cdot i) (Av_1 - 0,000169 \cdot q_p)}{Av_1} \quad (16)$$

Zbir površina jediničnih toplotnih deformacija određuje se iz izraza:

$$\Sigma \lambda_{A_1} = \mu \cdot q_p, \quad m^2 \quad (17)$$

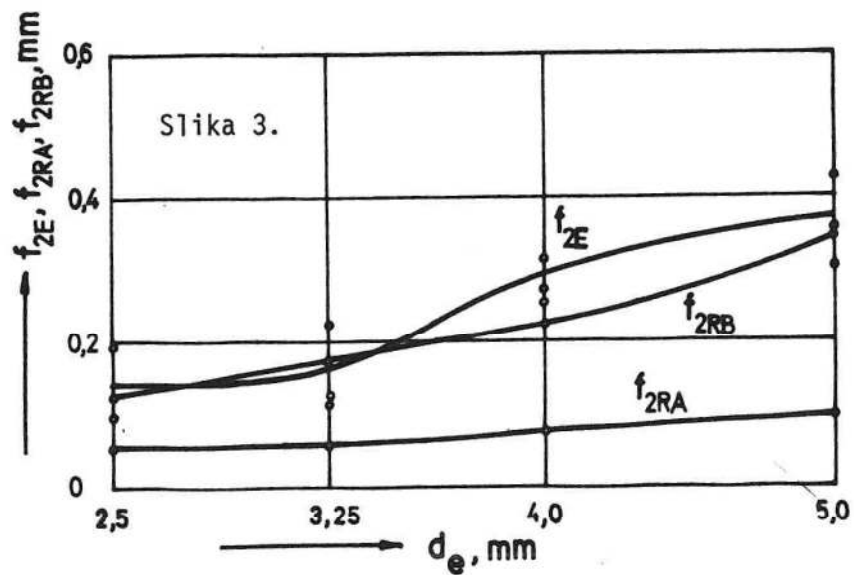
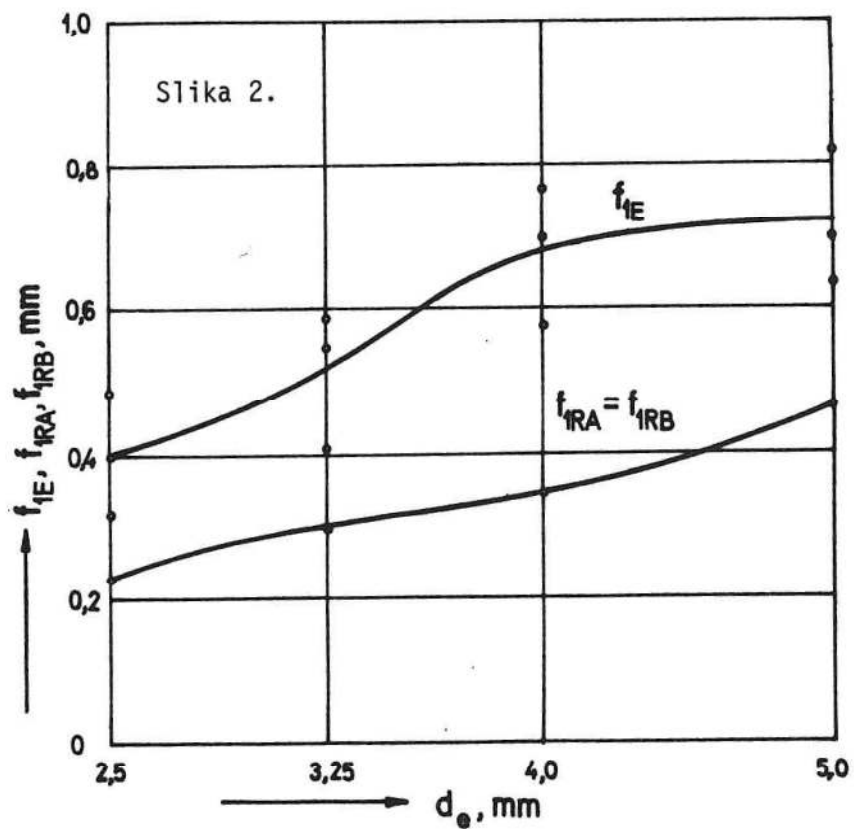
Rezultati izračunatih ugiba posle zavarivanja prvog (f_{1RB}) i drugog ($f_{1,2RB}$) šava prikazani su u tabeli 1.

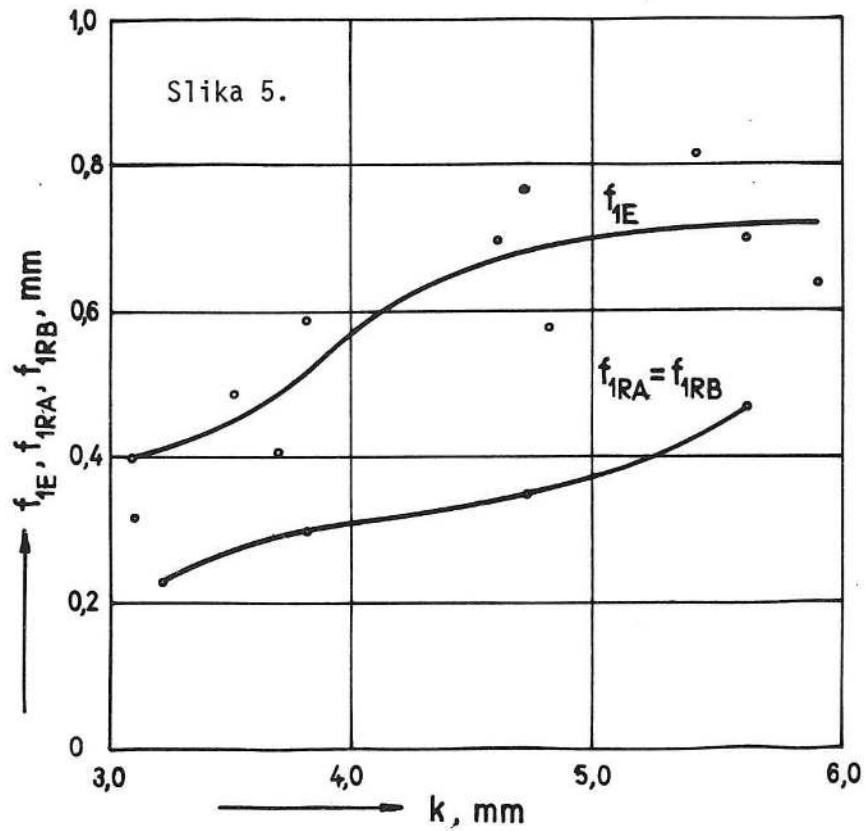
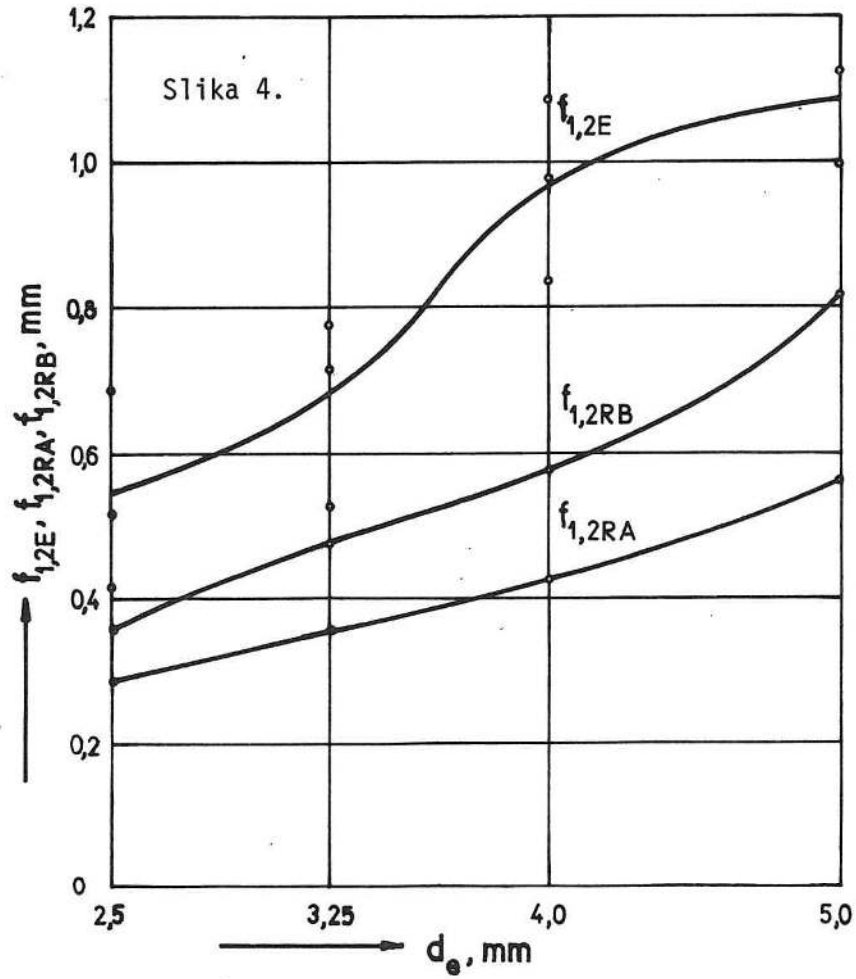
Ugib usled zavarivanja ugaonog šava 2 dobijen je iz izraza:

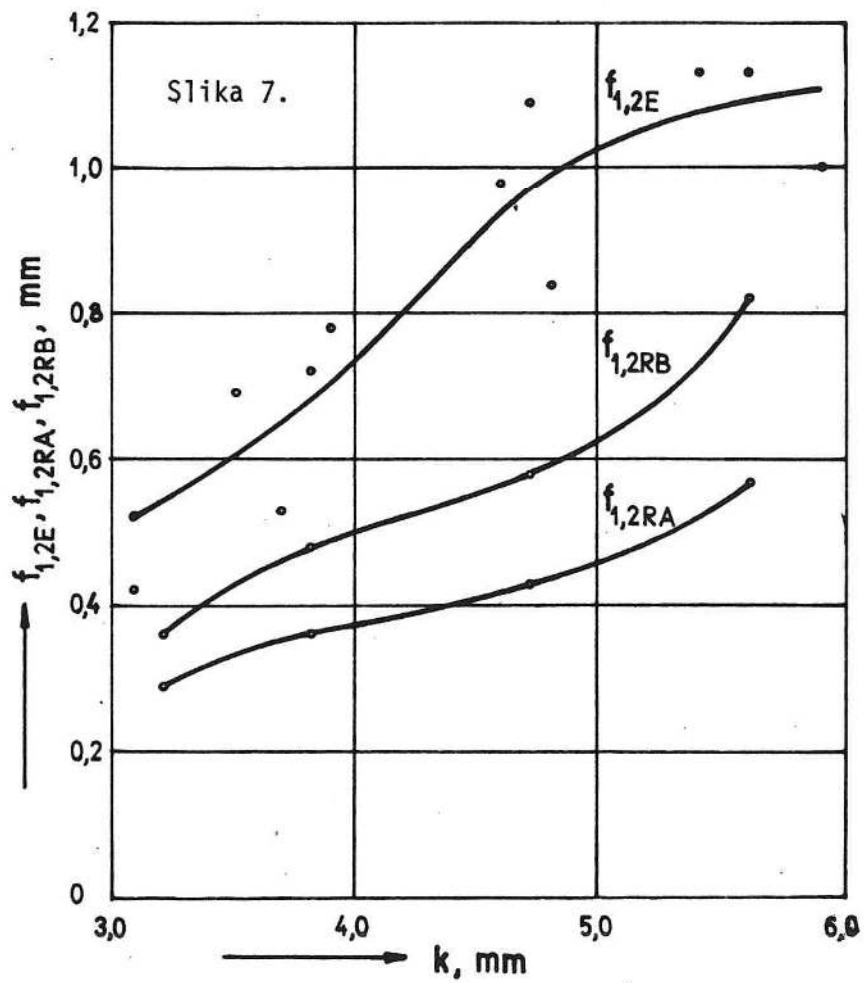
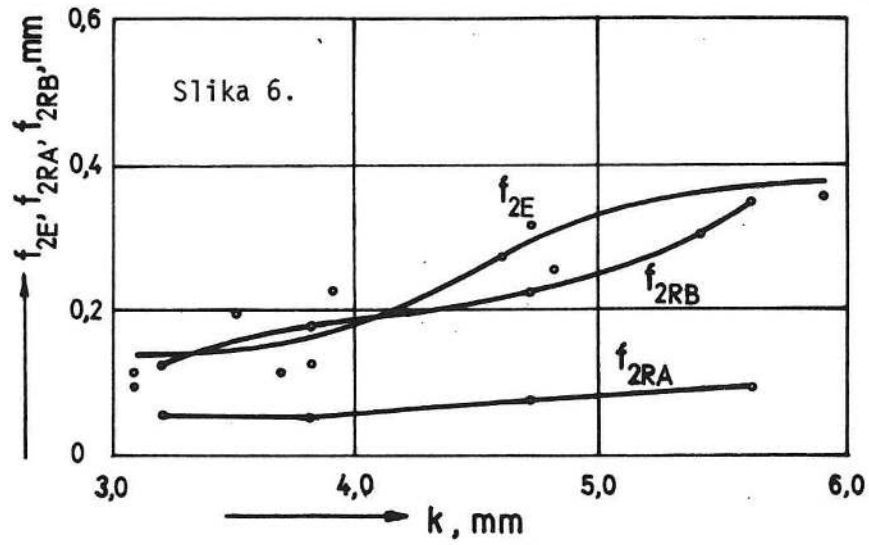
$$f_{2RB} = f_{1,2RB} - f_{1RB}, \quad m \quad (18)$$

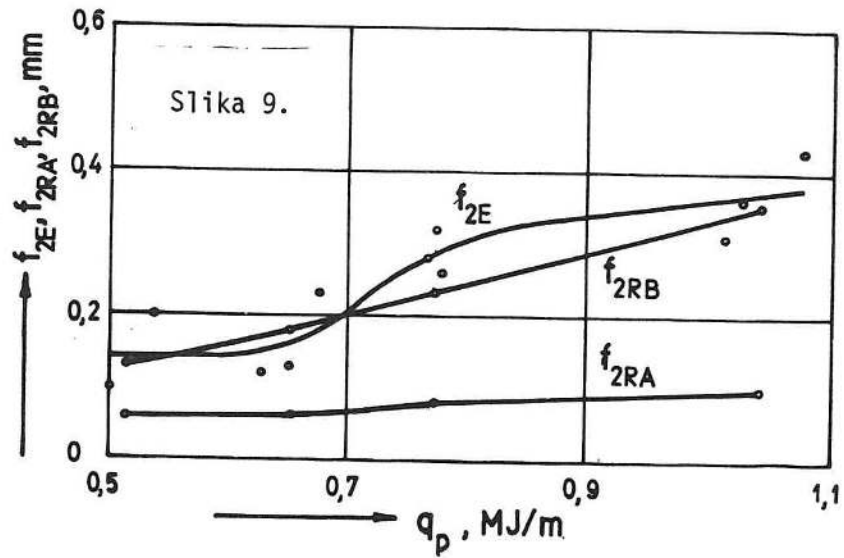
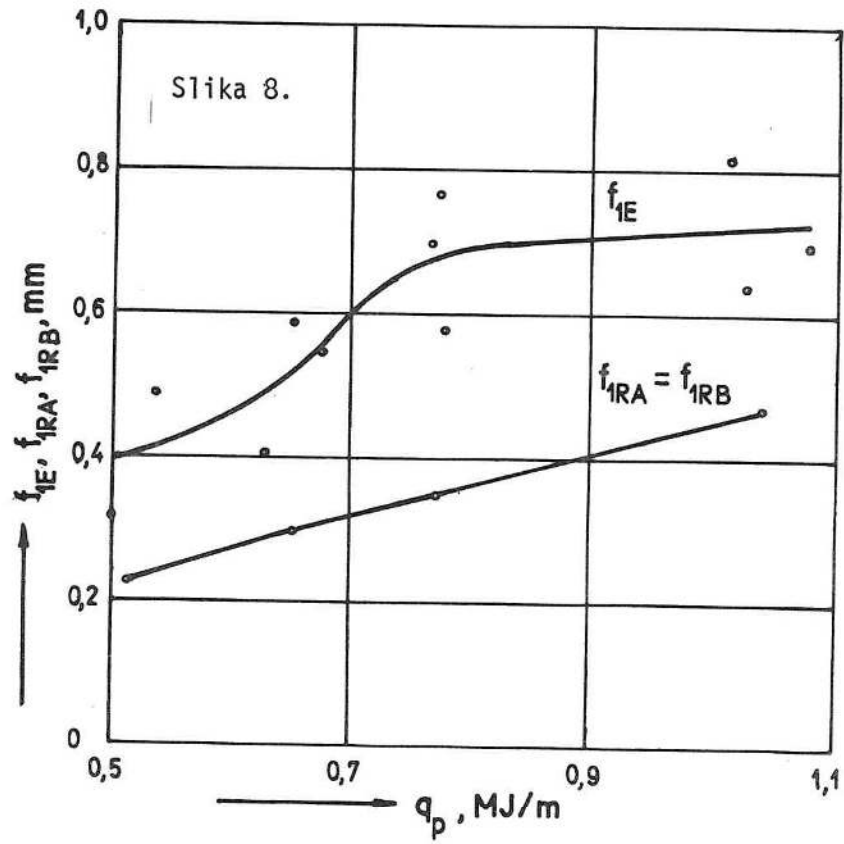
6.0. GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA

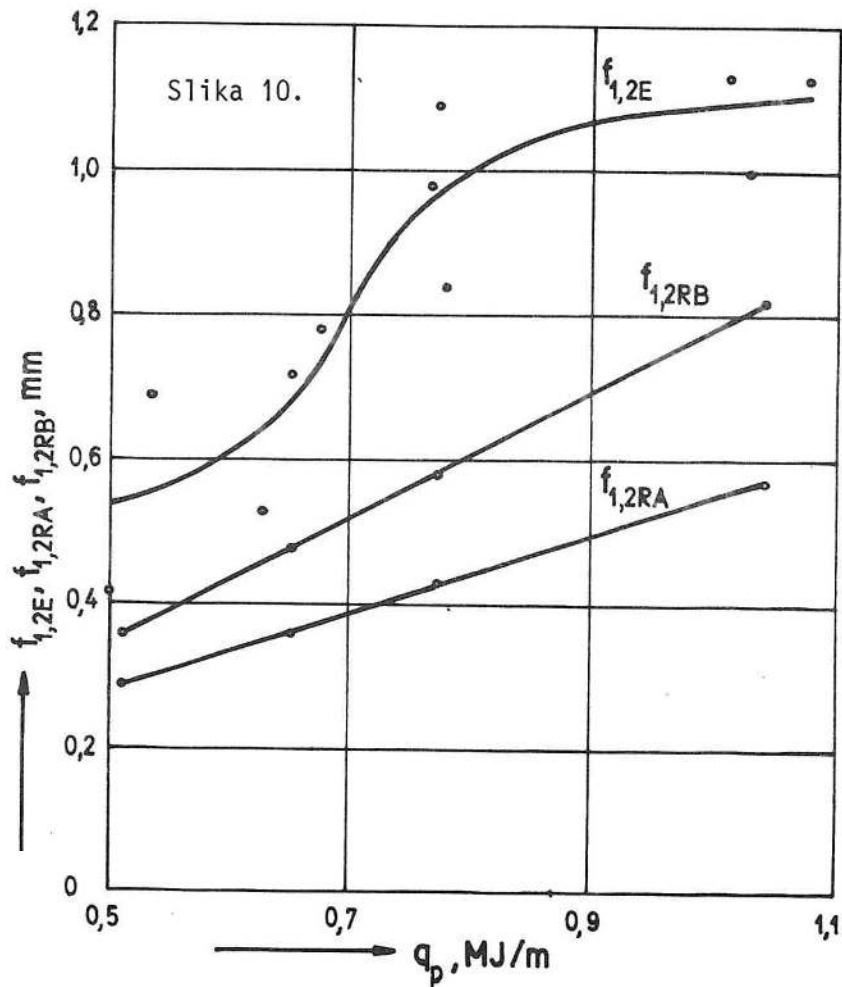
- Na slici 2. prikazana je zavisnost $f_{1E}, f_{1RA}, f_{1RB} = f(d_e)$.
- Na slici 3. prikazana je zavisnost $f_{2E}, f_{2RA}, f_{2RB} = f(d_e)$.
- Na slici 4. prikazana je zavisnost $f_{1,2E}, f_{1,2RA}, f_{1,2RB} = f(d_e)$.
- Na slici 5. prikazana je zavisnost $f_{1E}, f_{1RA}, f_{1RB} = f(k)$.
- Na slici 6. prikazana je zavisnost $f_{2E}, f_{2RA}, f_{2RB} = f(k)$.
- Na slici 7. prikazana je zavisnost $f_{1,2E}, f_{1,2RA}, f_{1,2RB} = f(k)$.
- Na slici 8. prikazana je zavisnost $f_{1E}, f_{1RA}, f_{1RB} = f(q_p)$.
- Na slici 9. prikazana je zavisnost $f_{2E}, f_{2RA}, f_{2RB} = f(q_p)$.
- Na slici 10. prikazana je zavisnost $f_{1,2E}, f_{1,2RA}, f_{1,2RB} = f(q_p)$.











7.0. ZAKLJUČAK

Iz rezultata istraživanja može se zaključiti sledeće:

1. Računska metoda za odredjivanje ostatnog ugiba T-nosača koja uzima u obzir postojanje početnog naponskog stanja (Metoda B) daje rezultate koji su bliži eksperimentalnim nego metoda koja ne uzima u obzir postojanje početnog naponskog stanja (Metoda A), obrazovanog ranije izvedenim šavom. Ovo se dobro slaže sa rezultatima istraživanja pod /5/, /6/ i /7/.
2. Odstupanja izmerenih i izračunatih vrednosti ostatnog ugiba su manja kod T-nosača zavarenih manjom pogonskom energijom.

3. Odstupanja izmerenih i izračunatih vrednosti ostatnog ugiba su manja kod ugiba usled zavarivanja ugaonog šava 2, a veća su kod ugiba usled zavarivanja ugaonog šava 1 kao i kod ugiba kompletno zavarenog T-nosača.
4. Zakonitost promene ostatnog ugiba u zavisnosti od prečnika obložene elektrode, katete šava i pogonske energije je slična za izmerene i izračunate ugibe.
5. Izračunate vrednosti ostatnog ugiba su manje od izmerenih o čemu treba voditi računa kod primene ovih računskih metoda.

8.0. LITERATURA

- /1/ Okerblom N.O.: Svaročne deformacije i naprjaženija, Moskva, 1948.
- /2/ Okerblom N.O.: Svaročne naprjaženija v metallokonstrukcijah, Moskva, 1950.
- /3/ Okerblom N.O.: Rasčet deformaciji metallokonstrukcii pro svarke, Moskva, 1955.
- /4/ Palić V.: Zavarivanje, Novi Sad, 1987.
- /5/ Palić V., Sabo B.: Uticaj dimenzija i odnosa pogonskih energija na veličinu ugiba zavarenog I-nosača, Zbornik radova IPM, br.1, Novi Sad, 1984.
- /6/ Palić V., Sabo B.: Uticaj pogonske energije i geometrijskih karakteristika preseka na veličinu ugiba zavarenog I-nosača, Zbornik radova IPM, br.2, Novi Sad, 1986.
- /7/ Sabo B.: Analiza metode N.O. Okerbloma za računsko određivanje ostatnog ugiba zavarenih I-nosača, Zbornik radova IPM, br.4, Novi Sad, 1987.