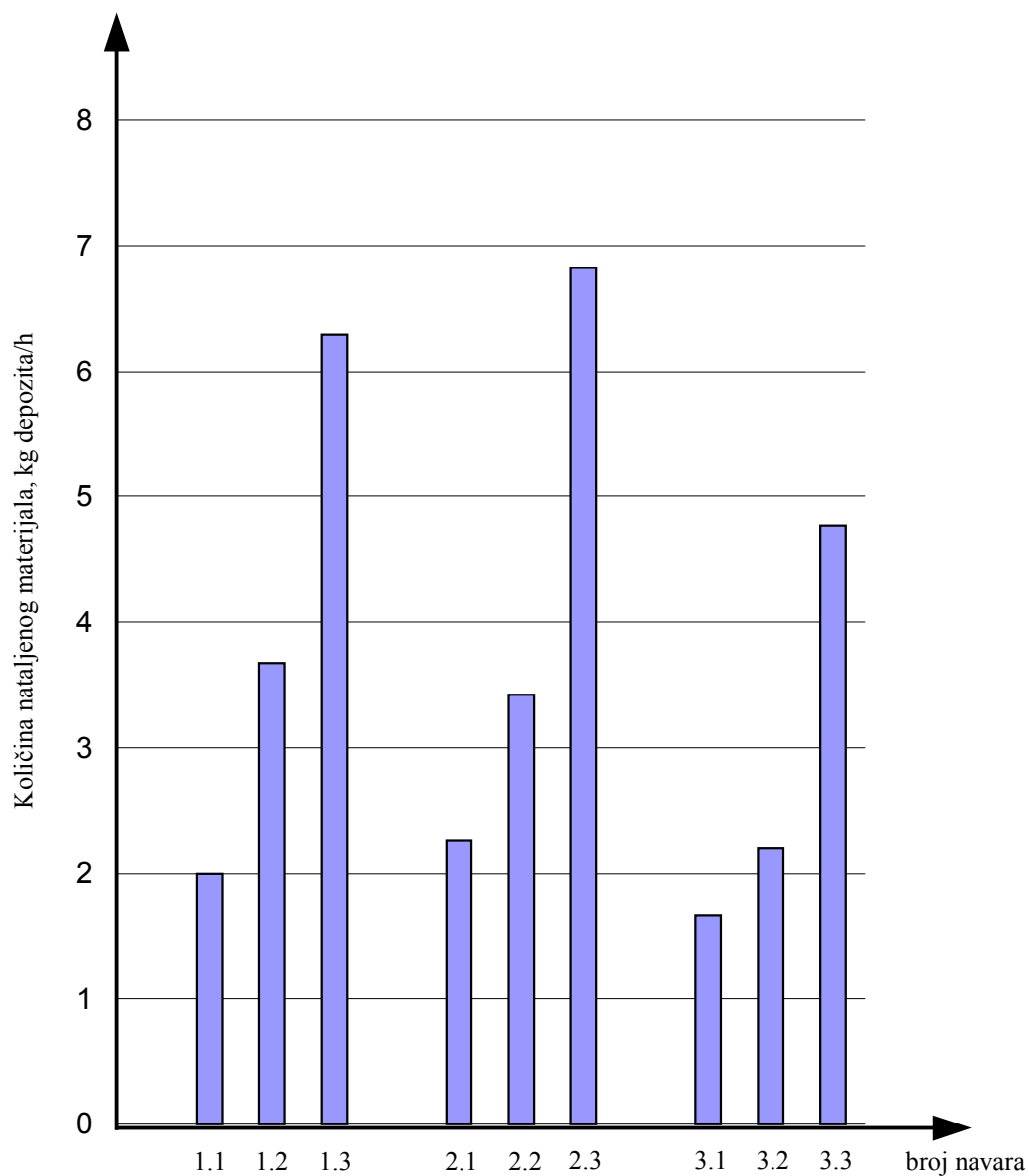
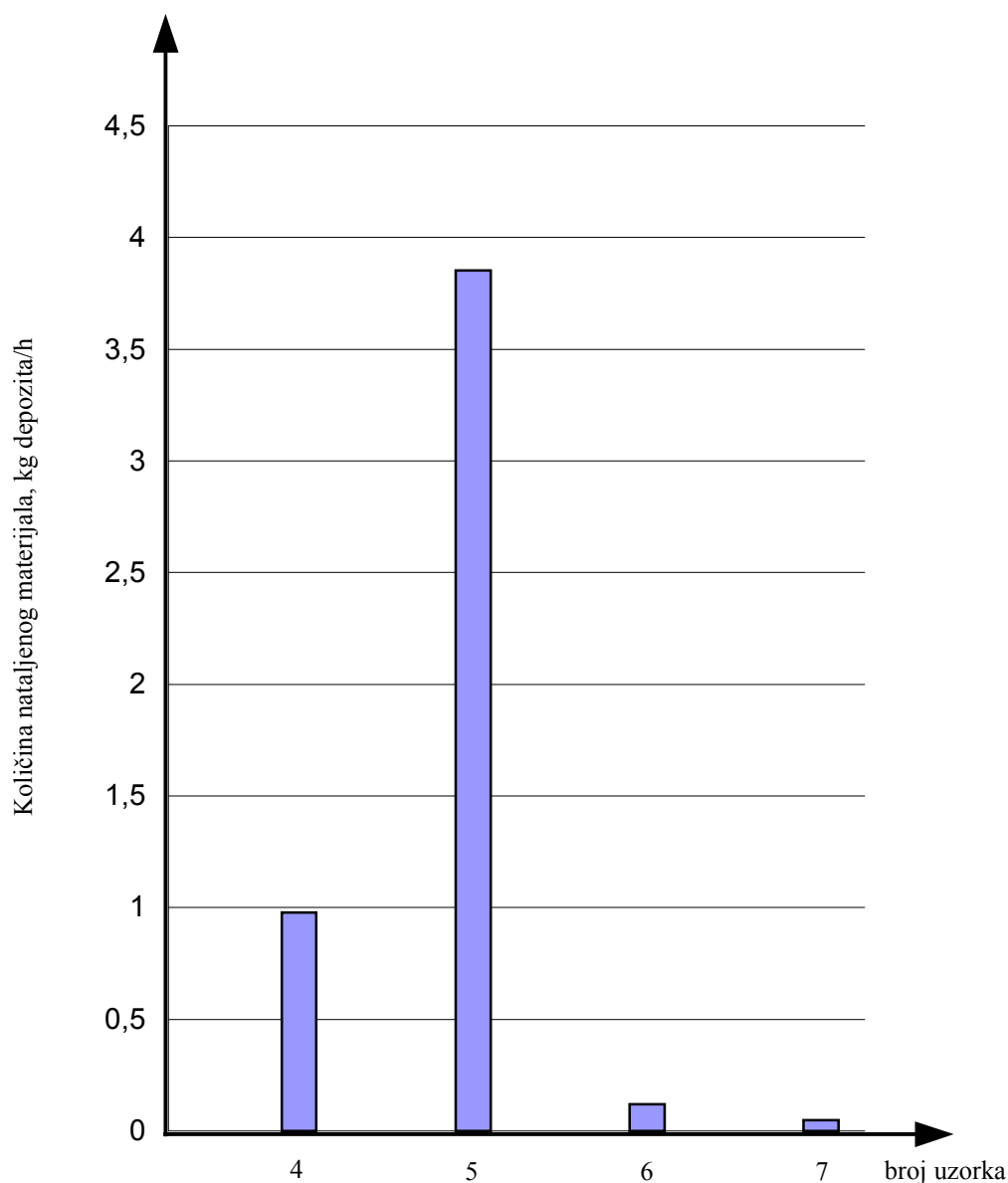


4.3 USPOREDBA PRODUKTIVNOSTI I EKONOMIČNOSTI MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA PRAŠKOM PUNJENIM ŽICAMA PREMA REL, EPP, TE TIG RUČNIM I AUTOMATSKIM POSTUPKOM

a) Usporedba sa stajališta produktivnosti



Slika 4.15 Količina nataljenog materijala kod MAG postupka zavarivanja



Slika 4.16 Količine nataljenog materijala kod REL, EPP, te ručnog i automatskog TIG postupka zavarivanja

b) Usporedba sa stajališta ekonomičnosti

Ekonomičnost primjene

Ekonomičnost primjene postupka zavarivanja može se izraziti kalkulacijom troškova zavarivanja. Ukupni troškovi zavarivanja su zbroj parcijalnih troškova koji čine troškovi žice za zavarivanje, troškovi električne energije, troškovi zaštitnog plina, troškovi radne snage i troškovi stroja (uređaja za zavarivanje).

Na uzorcima iz eksperimenta napravljena je kalkulacija troškova zavarivanja.

Troškovi MAG postupka zavarivanja:

Primjer kalkulacije troškova zavarivanja za navar zavarivan rutilnim praškom punjenom žicom, kratkim lukom (uzorak 1, navar 1).

Troškovi žice za zavarivanje

$$T_z = C_{jz} \cdot k_z = 172.8 \cdot 1.1 = 190 \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_{jz} = 172.8 \text{ NJ/kg žice (jedinična cijena rutilne praškom punjene žice)}$$

$$C_{jz} = 167.3 \text{ NJ/kg žice (jedinična cijena bazične praškom punjene žice)}$$

$$C_{jz} = 79.5 \text{ NJ/kg žice (jedinična cijena punjene žice)}$$

$$k_z = 1.1 \text{ kg žice/kg depozita (za punjenu žicu, } k_z = 1.05 \div 1.15)$$

$$k_z = 1 \text{ kg žice/kg depozita (za punjenu žicu, } k_z = 1 \div 1.05)$$

Troškovi električne energije

$$T_{ee} = C_{jee} \cdot \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$U = 27 \text{ V, } I = 165 \text{ A (vrijednosti iz tablice 4.2)}$$

$$\eta_s = 0.8 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$\varepsilon = 0.7 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$P_o = 0.7 \text{ kW (vrijednost za ispravljač)}$$

$$k_t = 1.988 \text{ kg depozita/h (vrijednost iz tablice 4.4)}$$

$$C_{jee} = 1.33 \text{ NJ/1kWh (jedinična cijena električne energije)}$$

$$T_{ee} = 1.33 \cdot \left[\frac{27 \cdot 165}{1000 \cdot 0.8} \cdot 0.7 + 0.7 \cdot (1 - 0.7) \right] \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.7} = 3.9 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi zaštitnog plina

$$T_{pl} = (\dot{m}_{pl} \cdot C_{pl}) \cdot \frac{60}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$\dot{m}_{pl} = \rho_{pl} \cdot \dot{V}_{pl} \cdot 10^{-3}, \text{ kg/min}$$

$$\rho_{pl} = \sum_{i=1}^n r_i \cdot \rho_i, \text{ kg/m}^3$$

U procesu zavarivanja, korišten je zaštitni plin Krysol, koji je mješavina argona i ugljičnog dioksida volumnih (molnih) udjela 82% Ar i 18% CO₂.

$$\rho_{argon} = 1.784 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{CO_2} = 1.976 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{Krysol} = 0.82 \cdot 1.784 + 0.18 \cdot 1.976 = 1.818 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_{pl} = 1.818 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0.02727 \text{ kg/min}$$

Vrsta zaštitnog plina	Cijena plina, NJ/kg plina
CO ₂	11.3
Argon	103
Krysol (82%Ar i 18%CO ₂)	92.3

Tablica 4.15 Jedinična cijena zaštitnog plina

$$T_{pl} = (m_{pl} \cdot C_{pl}) \cdot \frac{60}{k_t \cdot \varepsilon} = (0.02727 \cdot 92.3) \cdot \frac{60}{2 \cdot 0.7} = 108 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi radne snage

$$T_{rs} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$ODI = 492 \text{ NJ/h}$$

$$T_{rs} = \frac{492}{2 \cdot 0.7} = 351.5 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi stroja (uređaja za zavarivanje)

$$T_s = \frac{C_N (\text{amortizacija} + \text{osiguranje} + \text{odrzavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_N = 140607 \text{ NJ}$$

$$\text{broj sati rada godišnje} = 2100$$

$$T_{is} = T_s \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{140607 \cdot (0.1 + 0.01 + 0.04)}{2100} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.7} = 6.8 \text{ NJ/kg depozita}$$

Ukupni trošak zavarivanja

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^5 T_i = 190 + 3.9 + 108 + 351.5 + 6.8 = 660.2 \text{ NJ/kg depozita}$$

Analognim postupkom se izračunavaju troškovi za ostale navare izvedene MAG postupkom zavarivanja.

U tablici 4.15 su prikazane vrijednosti troškova dobivene kalkulacijom za navare izvedene MAG postupkom zavarivanja.

BROJ NAVARA	TROŠKOVI ŽICE NJ/kg Depozita	TROŠKOVI ELEKTRIČNE ENERGIJE NJ/kg Depozita	TROŠKOVI ZAŠTITNOG PLINA NJ/kg depozita	TROŠKOVI RADNE SNAGE NJ/kg depozita	TROŠKOVI STROJA (UREĐAJA) NJ/kg depozita	UKUPNI TROŠAK NJ/kg depozita
1.1	190	3.9	108	351.5	6.8	660.2
1.2	190	3.3	62.3	191.3	3.7	450.6
1.3	190	2.7	41.1	111.7	2.2	347.7
2.1	184	3.4	95.7	311.7	6.0	600.8
2.2	184	3.2	75.9	206.1	4.0	473.2
2.3	184	2.4	42.2	103	2.0	333.5
3.1	83.5	2.7	104.6	426	8.2	625
3.2	83.5	3.5	91.7	320	6.2	505
3.3	83.5	2.7	48.3	147.6	2.8	285

Tablica 4.16 *Troškovi MAG postupka zavarivanja*

Analognim postupkom izračunavaju se troškovi REL, TIG i EPP postupka zavarivanja.

Troškovi REL postupka zavarivanja:

U pogledu izračunavanja troškova zavarivanja, REL postupak zavarivanja se ne razlikuje bitno od MAG postupka, u tu svrhu se koriste isti izrazi. Osnovna razlika je ta što se kod REL postupka koristi obložena elektroda, a ne žica, pa se stoga ne izračunavaju (ne postoje) troškovi zaštitnog plina.

Troškovi elektroda

$$T_{el} = C_{el} \cdot k_{el} = 79.6 \cdot 1.34 = 106.7 \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_{el} = 79.6 \text{ NJ/kg elektroda, (jedinična cijena elektroda)}$$

$$k_z = \frac{1}{\eta_{el}} = \frac{1}{0.75} = 1.34 \text{ kg elektroda/kg depozita}$$

Troškovi električne energije

$$T_{ee} = C_{jee} \cdot \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$U = 24 \text{ V}, I = 135 \text{ A (vrijednosti iz tablice 4.5)}$$

$$\eta_s = 0.8 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$\varepsilon = 0.5 \text{ } (\varepsilon = 0.5, \text{ u dobro organiziranoj proizvodnji})$$

$$P_o = 0.7 \text{ kW (vrijednost za ispravljač)}$$

$$k_t = 0.997 \text{ kg depozita/h (vrijednost iz tablice 4.13)}$$

$$C_{jee} = 1.33 \text{ NJ/1kWh (jedinična cijena električne energije)}$$

$$T_{ee} = 1.33 \cdot \left[\frac{24 \cdot 135}{1000 \cdot 0.8} \cdot 0.5 + 0.7 \cdot (1 - 0.5) \right] \cdot \frac{1}{0.997 \cdot 0.5} = 6.34 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi radne snage

$$T_{rs} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$ODI = 492 \text{ NJ/h}$$

$$T_{rs} = \frac{492}{0.997 \cdot 0.5} = 987 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi stroja (uređaja za zavarivanje)

$$T_s = \frac{C_N (\text{amortizacija} + \text{osiguranje} + \text{odrzavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_N = 42183 \text{ NJ}$$

$$\text{broj sati rada godišnje} = 2100$$

$$T_{is} = T_s \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{42183 \cdot (0.1 + 0.01 + 0.04)}{2100} \cdot \frac{1}{0.997 \cdot 0.5} = 6.1 \text{ NJ/kg depozita}$$

Ukupni trošak zavarivanja

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^4 T_i = 106.7 + 6.34 + 987 + 6.1 = 1106 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi EPP postupka zavarivanja:

Troškovi EPP postupka zavarivanja izračunavaju se po uglavnom istim izrazima kao i oni kod MAG postupka, osim što se kod EPP postupka zavarivanja koristi zaštitni prah, a ne zaštitni plin.

Troškovi žice za zavarivanje

$$T_z = C_z \cdot k_z = 36 \cdot 1 = 36 \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_z = 36 \text{ NJ/kg žice, (jedinična cijena žice)}$$

$$k_z = 1 \text{ kg žice/depozita (nema rasprskavanja, a ni prokapljivanja)}$$

Troškovi električne energije

$$T_{ee} = C_{jee} \cdot \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$U = 30 \text{ V}, I = 265 \text{ A (vrijednosti iz tablice 4.6)}$$

$$\eta_s = 0.8 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$\varepsilon = 0.7 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$P_o = 0.7 \text{ kW (vrijednost za ispravljač)}$$

$$k_t = 3.854 \text{ kg depozita/h (vrijednost iz tablice 4.13)}$$

$$C_{jee} = 1.33 \text{ NJ/1kWh (jedinična cijena električne energije)}$$

$$T_{ee} = 1.33 \cdot \left[\frac{30 \cdot 265}{1000 \cdot 0.8} \cdot 0.7 + 0.7 \cdot (1 - 0.7) \right] \cdot \frac{1}{3.854 \cdot 0.7} = 3.5 \text{ NJ/kg depozita}$$

Trošak zaštitnog praha

$$T_p = k_p \cdot C_{pr} = 1.2 \cdot 419.2 = 503 \text{ NJ/kg depozita}$$

$$k_p = 1.2 \text{ kg praha/kg depozita}$$

Trošak radne snage

$$T_{RS} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$ODI = 492 \text{ NJ/h}$$

$$T_{RS} = \frac{492}{3.854 \cdot 0.7} = 182.3 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi stroja (uređaja za zavarivanje)

$$T_s = \frac{C_N (\text{amortizacija} + \text{osiguranje} + \text{odrzavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_N = 140607 \text{ NJ}$$

$$\text{broj sati rada godišnje} = 2100$$

$$T_{is} = T_s \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{140607 \cdot (0.1 + 0.01 + 0.04)}{2100} \cdot \frac{1}{3.854 \cdot 0.7} = 3.7 \text{ NJ/kg depozita}$$

Ukupni trošak zavarivanja

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^5 T_i = 36 + 3.5 + 503 + 182.3 + 3.7 = 728.5 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi ručnog TIG postupka zavarivanja:

Trošak žice za zavarivanje

$$T_z = k_z \cdot C_{jz} = 1 \cdot 79.7 = 79.7 \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_{jz} = 79.7 \text{ NJ/kg žice, (jedinična cijena žice)}$$

$$k_z = 1 \text{ kg žice/kg depozita (nema rasprskavanja, a ni prokapljivanja)}$$

Trošak električne energije

$$T_{ee} = C_{jee} \cdot \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$U = 12.5 \text{ V}, I = 110 \text{ A (vrijednosti iz tablice 4.7)}$$

$$\eta_s = 0.8 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$\varepsilon = 0.7 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$P_o = 0.7 \text{ kW (vrijednost za ispravljač)}$$

$$k_t = 0.12 \text{ kg depozita/h (vrijednost iz tablice 4.13)}$$

$$C_{jee} = 1.33 \text{ NJ/1kWh (jedinična cijena električne energije)}$$

$$T_{ee} = 1.33 \cdot \left[\frac{12.5 \cdot 110}{1000 \cdot 0.8} \cdot 0.7 + 0.7 \cdot (1 - 0.7) \right] \cdot \frac{1}{0.12 \cdot 0.7} = 4 \text{ NJ/kg depozita}$$

Trošak zaštitnog plina

$$T_{pl} = (\dot{m}_{pl} \cdot C_{pl}) \cdot \frac{60}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$\dot{m}_{pl} = \rho_{pl} \cdot \dot{V}_{pl} \cdot 10^{-3}, \text{ kg/min}$$

$$\rho_{\text{argon}} = 1.784 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{pl} = (\dot{m}_{pl} \cdot C_{pl}) \cdot \frac{60}{k_t \cdot \varepsilon} = (1.784 \cdot 7 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{60}{0.12 \cdot 0.7} = 918.8 \text{ NJ/kg depozita}$$

Trošak radne snage

$$T_{rs} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$ODI = 492 \text{ NJ/h}$$

$$T_{rs} = \frac{492}{0.12 \cdot 0.7} = 5857.2 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi stroja (uređaja za zavarivanje)

$$T_s = \frac{C_N (\text{amortizacija} + \text{osiguranje} + \text{odrzavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_N = 42182 \text{ NJ}$$

$$\text{broj sati rada godišnje} = 2100$$

$$T_{is} = T_s \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{42182 \cdot (0.1 + 0.01 + 0.04)}{2100} \cdot \frac{1}{0.12 \cdot 0.7} = 36 \text{ NJ/kg depozita}$$

Ukupni trošak zavarivanja

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^5 T_i = 79.7 + 4 + 918.8 + 5857.2 + 36 = 6895.7 \text{ NJ/kg depozita}$$

Troškovi automatskog TIG postupka zavarivanja:

Automatski TIG postupak je poseban u pogledu izračunavanja troškova zaštitnog plina za zavarivanje, jer se kod njega, u slučaju sučeonog zavarivanja cijevi, zaštitni plin dovodi obostrano, odnosno s vanjske i unutarnje strane, pa je stoga utrošak zaštitnog plina znatno veći nego kod ručnog TIG postupka zavarivanja.

Trošak žice za zavarivanje

$$T_z = k_z \cdot C_{jz} = 1 \cdot 100 = 100 \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_{jz} = 100 \text{ NJ/kg žice, (jedinična cijena žice)}$$

$$k_z = 1 \text{ kg žice/kg depozita (nema rasprskavanja, a ni prokapljivanja)}$$

Trošak električne energije

$$T_{ee} = C_{jee} \cdot \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$U = V, I = A \text{ (vrijednosti iz tablice 4.8)}$$

$$\eta_s = 0.8 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$\varepsilon = 1.0 \text{ (vrijednost za ispravljač)}$$

$$P_o = 0.7 \text{ kW (vrijednost za ispravljač)}$$

$$k_t = 0.049 \text{ kg depozita/h (vrijednost iz tablice 4.13)}$$

$$C_{jee} = 1.33 \text{ NJ/1kWh (jedinična cijena električne energije)}$$

$$T_{ee} = 1.33 \cdot \left[\frac{12.5 \cdot 110}{1000 \cdot 0.8} + 0.7 \cdot (1 - 0.7) \right] \cdot \frac{1}{0.049 \cdot 0.7} = 54.8 \text{ NJ/kg depozita}$$

Trošak zaštitnog plina

$$T_{pl} = (\dot{m}_{pl} \cdot C_{pl}) \cdot \frac{60}{k_t \cdot \varepsilon} = (0.0446 \cdot 103) \cdot \frac{60}{0.049 \cdot 0.7} = 8035.8, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$\dot{m}_{pl} = \rho_{pl} \cdot \dot{V}_{pl} \cdot 10^{-3} = 1.784 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.0446, \text{ kg/min}$$

$$\rho_{\text{argon}} = 1.784 \text{ kg/m}^3$$

Trošak radne snage

$$T_{rs} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$ODI = 492 \text{ NJ/h}$$

$$T_{rs} = \frac{492}{0.049 \cdot 0.7} = 14344 \text{ NJ/kg depozita}$$

Trošak stroja (uredaja za zavarivanje)

$$T_s = \frac{C_N (\text{amortizacija} + \text{osiguranje} + \text{odrzavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}}, \text{ NJ/kg depozita}$$

$$C_N=196850 \text{ NJ}$$

$$\text{broj sati rada godišnje} = 2100$$

$$T_{is} = T_s \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{196849(0.1 + 0.01 + 0.04)}{2100} \cdot \frac{1}{0.049 \cdot 0.7} = 410 \text{ NJ/kg depozita}$$

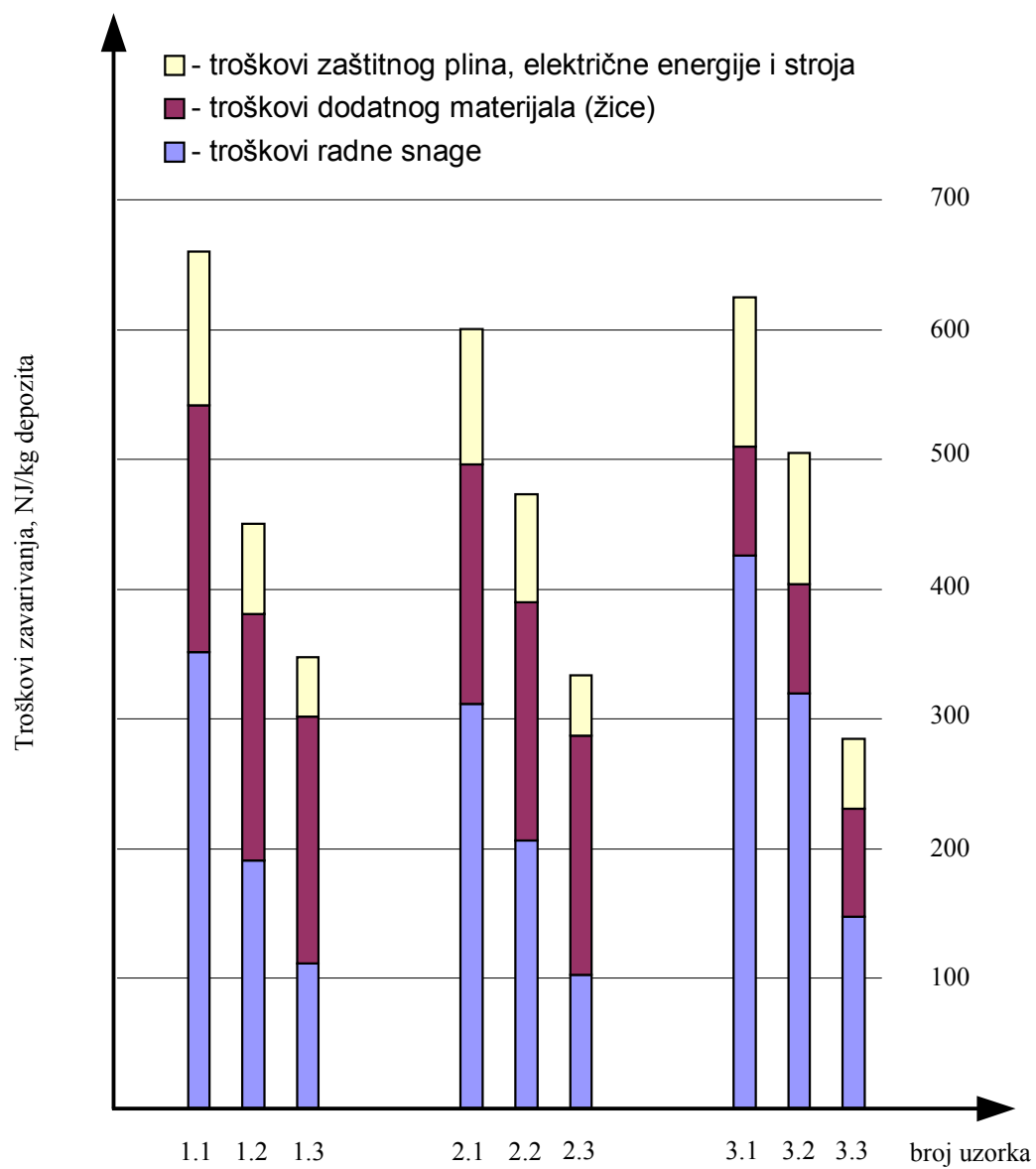
Ukupni troškovi zavarivanja

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^5 T_i = 100 + 54.8 + 8035.8 + 14344 + 410 = 22944.6 \text{ NJ/kg depozita}$$

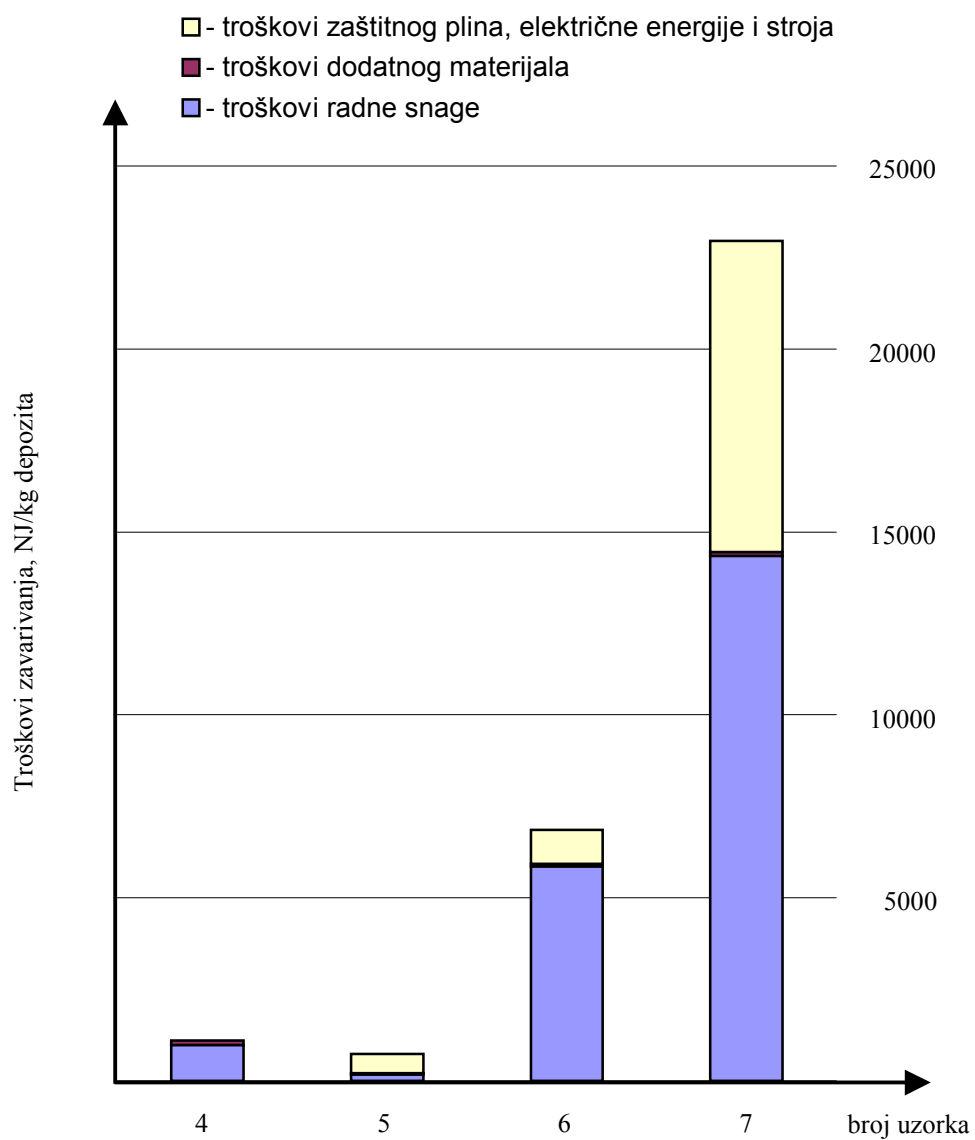
U tablici 4.17 prikazani su troškovi (vrijednosti kalkulacija) za REL, EPP, te ručni i automatski TIG postupak zavarivanja, a na slici 4.17 grafički prikaz istih uz usporedbu sa troškovima MAG postupka zavarivanja.

Postupak		TROŠKOVI ŽICE, NJ/kg depozita	TROŠKOVI ELEKTRIČNE ENERGIJE NJ/kg depozita	TROŠKOVI ZAŠTITNOG PLINA/ PRAHA NJ/kg depozita	TROŠKOVI RADNE SNAGE NJ/kg depozita	TROŠKOVI STROJA (UREĐAJA) NJ/kg depozita	UKUPNI TROŠAK NJ/kg depozita
REL		106.7	6.34	–	987	6.1	1106
EPP		36	3.5	503	182.3	3.7	728.5
TIG	Ručno	79.7	4	918.8	5857.2	36	6895.7
	Automatski	100	54.8	8035.8	14344	410	22945

Tablica 4.17 *Troškovi REL, EPP i TIG (ručnog i automatskog) postupka zavarivanja*



Slika 4.17 *Troškovi kod MAG postupka zavarivanja*



Slika 4.18 *Troškovi kod REL, EPP, te ručnog i automatskog TIG postupka zavarivanja*