

3 IZBOR REPREZENTANTNE ZAVARENE KONSTRUKCIJE

Kao reprezentativni primjer zavarene konstrukcije izabran je središnji prsten hidrauličnog bagera. Na izabranoj konstrukciji je provedena analiza glavnih troškova zavarivanja i izabrani su najpovoljniji postupci zavarivanja za svaki zavar (poglavlje 3.3).

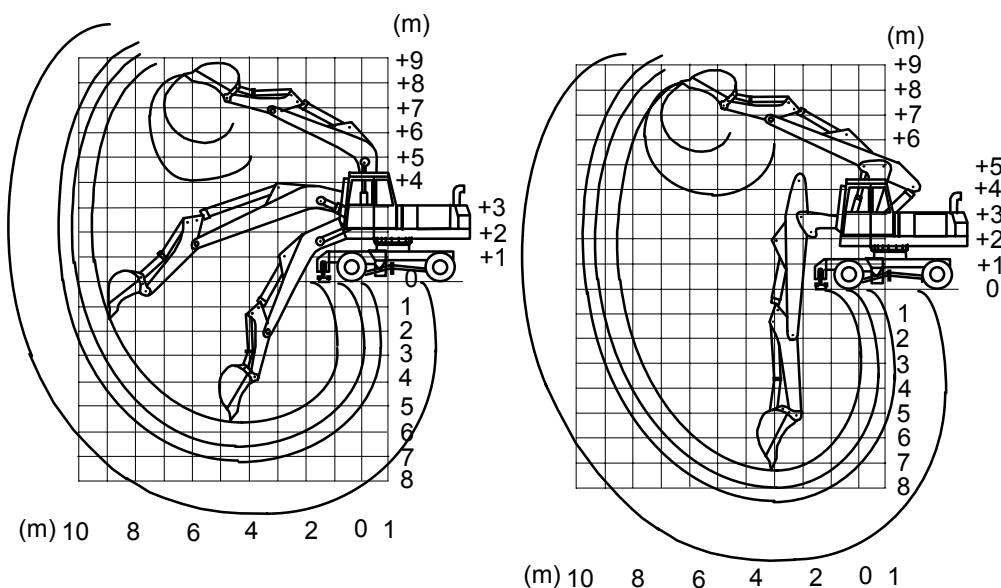
3.1 OSNOVNI PODACI O ZAVARENOJ KONSTRUKCIJI

Hidraulički bageri su danas najvažniji strojevi za utovar. Upravljanje radnim dijelovima je hidrauličko i zbog toga hidraulički bageri nemaju mehaničkih elemenata pogona i prijenosa vitla i pripadajućih užeta kao užetni bageri. Masa hidrauličkih bagera je 2 do 2,5 puta manja od mase užetnih bagera, a time je potrebna i manja pogonska snaga, manji utrošak energije, a veće su brzine i radni kapaciteti.

Promatrani stroj je hidraulički bager SM 15 tipa PAH-4 sa slijedećim karakteristikama:

- Masa 16000 kg
- Snaga motora 62 kW
- Volumen šake 1 m³
- Max. brzina kretanja 20 km/h
- Količina hidrauličkog ulja 230 l
- Dimenzije bagera bez krakova i šake 4580x3360x3130 mm

Mogućnosti manevriranja s krakovima i šakom kao i mogućnosti izvođenja radnih operacija prikazane su na slici 3.1.



Slika 3.1 *Mogućnosti manevriranja i izvođenje radnih operacija hidrauličkog bagera SM 15*

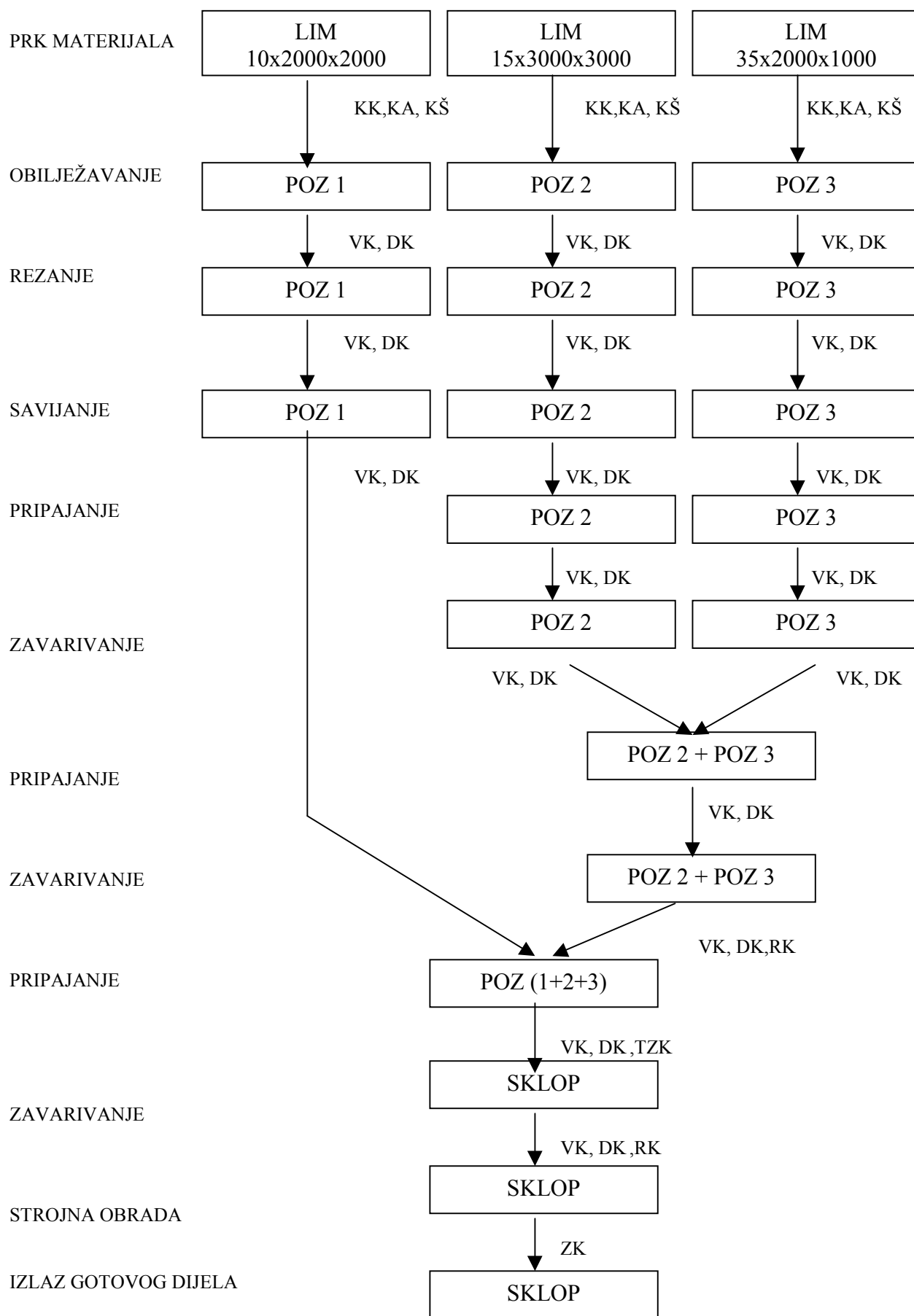
Središnji prsten, prikazan na sklopnom crtežu u privicima diplomskog rada, je spojni dio između gornjeg i donjeg dijela hidrauličkog bagera, a omogućava rotaciju gornjeg u odnosu na donji dio bagera što povećava manevarski prostor bagera. Kako je središnji prsten izrazito dinamički opterećen udarnim i tlačnim opterećenjima potrebna je visoka pouzdanost u radu, a ona se postiže kvalitetnom izradom i kontrolom.

3.2 SLIJED PROIZVODNIH I KONTROLNIH AKTIVNOSTI

Slijed proizvodnih i kontrolnih aktivnosti pri nastajanju proizvoda, od izrade pojedinih pozicija do njihovog sklapanja u gotov proizvod, prikazan je shematski na slici 3.2.

Sklop se sastoji od tri pozicije. Svaka od pozicija nastaje iz lima određenih dimenzija (početni materijal). Početni materijal se postupcima rezanja i savijanja oblikuje u pozicije, a pozicije se zavarivanjem spajaju u sklop. Između svake proizvodne aktivnosti pozicija ili sklop prolazi kroz različite kontrole (vizualna, dimenzijska, itd.). Kontrola osigurava kvalitetnu izradu i postizanje potrebne pouzdanosti sklopa.

Sklopni crtež središnjeg prstena hidrauličkog bagera, zajedno sa pripadajućim pozicijama, se nalazi u privicima diplomskog rada.



Slika 3.2 Slijed proizvodnih i kontrolnih aktivnosti

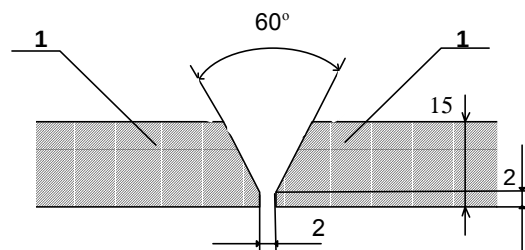
(VK – vizualna kontrola, DK – dimenzijska kontrola, RK – radiografska kontrola, KK – kontrola kvalitete, KA – kontrola atesta materijala, KŠ – kontrola šarže, TZK – točka zastoja radi kontrole, ZK – završna kontrola).

3.3 TROŠKOVI ZAVARIVANJA IZABRANOG REPREZENTANTA

3.3.1 Određivanje normativa vremena zavarivanja

ZAVAR 1 (zavar na poziciji 1)

Debljina lima je 15 mm, a materijal Č 0563. Duljina šava je 527 mm. Spoj je pripremljen kao "V" žlijeb (slika 3.3). Zavarivanjem se postiže potpuni provar i žlijebljenje nije potrebno. Korišten žlijeba se provaruje u jednom prolazu elektrodom $\varnothing 3,25$ mm, a ostatak žlijeba se popunjava elektrodom $\varnothing 4$ mm.



Slika 3.3 Izgled i dimenzije zavarenog spoja (zavar 1)

Teorijska površina zavora prema izrazu (2.20):

$$F = (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + b \cdot \delta, \text{ mm}^2$$

$$F = (15 - 2)^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + 2 \cdot 15 = 128 \text{ mm}^2$$

Stvarna površina zavora je povećana u odnosu na teorijsku za veličinu nadvišenja zavora. Za ovaj slučaj nadvišenje iznosi 10% od teorijske površine zavora.

Stvarna površina zavora iznosi:

$$F' = F \cdot 1,1 = 128 \cdot 1,1 = 141 \text{ mm}^2$$

Eksperimentalno je određena površina dodatnog materijala za odabranu elektrodu promjera 3,25 mm (uz brzinu zavarivanja $v=2,5$ mm/s, te vrijednost struje $I=140$ A i napon $U=22$ V) i ona iznosi $F_1=15$ mm². Za elektrodu promjera 4 mm također je poznata površina dodatnog materijala $F_2=18$ mm² (uz $v=2,5$ mm/s, $I=160$ A i $U=23$ V). Kako se zavarivanje korijena žlijeba izvodi elektrodom promjera 3,25 mm, a popuna elektrodom 4 mm, potrebni broj prolaza je:

$$F' = F_1 + n \cdot F_2 \quad (3.1)$$

$$n = \frac{F' - F_1}{F_2} = \frac{141 - 15}{18} = 7 \text{ prolaza}$$

Iz tablice 1 (u privicima) za elektrodu EVB 50 ø 3,25 mm koeficijent taljenja je $\alpha_n=8,6$ g/(A·h), a za elektrodu EVB 50 ø 4 mm koeficijent taljenja je $\alpha_n=9,2$ g/(A·h).

a) Osnovno vrijeme kod zavarivanja (t_o)

$$t_o = \frac{60 \cdot F' \cdot \gamma \cdot 10^3}{I \cdot \alpha_n}, \text{ min/m} \quad (3.2)$$

gdje je: t_o - osnovno vrijeme zavarivanja za jedan pogonski metar, min/m

γ - specifična masa istaljenog metala, g/mm³ (za čelik $\gamma=0,00785$ g/mm³)

I - jakost struje zavarivanja, A

α - koeficijent taljenja, g/(A·h)

Kod višeslojnog zavarivanja osnovno vrijeme se računa prema slijedećem izrazu:

$$t_o = 60 \cdot \gamma \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{F_1}{I_1 \cdot \alpha_{n1}} + \frac{F_2}{I_2 \cdot \alpha_{n2}} + \dots + \frac{F_3}{I_3 \cdot \alpha_{n3}} \right), \text{ min/m}$$

$$t_o = 60 \cdot 0,00785 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{15}{140 \cdot 8,6} + 7 \cdot \frac{18}{160 \cdot 9,2} \right) = 46,2 \text{ min/m}$$

b) Pomoćno vrijeme (t_{p1} , t_{p2})

Kod elektrolučnog zavarivanja pomoćno vrijeme obuhvaća gubitke vremena koji su nastali provedbom dvije grupe elemenata rada:

- 1) povezanih sa šavom koji se zavaruje (t_{p1}) i
- 2) povezanih sa proizvodom koji se zavaruje i upravljanjem opremom za zavarivanje (t_{p2})

Elementi pomoćnog rada povezani sa šavom koji se zavaruje su:

- zamjena elektroda
- pregledi i čišćenje rubova koji se zavaruju
- čišćenje šavova od šljake

Vrijeme za zamjenu elektrode, t_e računa se prema slijedećem izrazu:

$$t_e = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef}}, \text{ min/m} \quad (3.3)$$

gdje je: t'_e - vrijeme za zamjenu 1 elektrode, min (za opružni držač elektrode $t'_e=0,11$ min)

V_{ef} - efektivni volumen jedne elektrode, cm^3

$$V_{ef} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot \frac{(l_n - l_o)}{1000} \cdot k_n, \text{ cm}^3 \quad (3.4)$$

d_e - promjer elektrode, mm

l_n - početna duljina elektrode, mm

l_o - duljina ogorka elektrode, mm

k_n -koeficijent prijelaza metala elektrode u šav (0,85 - 0,95 u proračunu se koristi srednja vrijednost $k_n=0,9$)

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \times 350$ mm

$$V_{ef1} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot \frac{(l_n - l_o)}{1000} \cdot k_n = \frac{\pi \cdot 3,25^2}{4} \cdot \frac{350 - 30}{1000} \cdot 0,9 = 2,39 \text{ cm}^3$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \times 450$ mm

$$V_{ef2} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot \frac{(l_n - l_o)}{1000} \cdot k_n = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} \cdot \frac{450 - 30}{1000} \cdot 0,9 = 4,75 \text{ cm}^3$$

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 3,25 \times 350$ mm je:

$$t_{e1} = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef1}} = \frac{0,11 \cdot 15}{2,39} = 0,69 \text{ min/m}$$

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 4 \times 450$ mm je:

$$t_{e2} = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef2}} = \frac{0,11 \cdot 7 \cdot 18}{4,75} = 2,92 \text{ min/m}$$

Ukupno vrijeme za zamjenu elektroda:

$$t_e = t_{e1} + t_{e2} = 0,69 + 2,92 = 3,61 \text{ min/m} \quad (3.5)$$

Vrijeme za čišćenje šljake čeličnom četkom, pregled i mjerenje međuslojeva i završnih slojeva računa se prema slijedećem izrazu:

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e, \text{ min/m} \quad (3.6)$$

gdje je: m – broj slojeva šava

m_e – broj završnih slojeva šava

k – koeficijent kod izračunavanja vremena za čišćenje i pregled međuslojeva šava (za slučaj sa zazorom u korijenu $k=1,2$, kod šava bez zazora u korijenu $k=0,5$)

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e = 1,2 \cdot (3 - 1) + 0,6 \cdot 1 = 3 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa šavom koji se zavaruje je:

$$t_{p1} = t_{o\check{c}} + t_e, \text{ min/m} \quad (3.7)$$

$$t_{p1} = t_{o\check{c}} + t_e = 3 + 3,61 = 6,61 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa proizvodom koji se zavaruje (t_{p2})

Ovo vrijeme obuhvaća:

- vrijeme za postavljanje proizvoda (2,1 min)
- vrijeme za skidanje proizvoda (2,0 min)
- postavljanje žiga zavarivača (0,1 min)

$$t_{p2} = 2,1 + 2,0 + 0,1 = 4,2 \text{ min}$$

Vrijeme za posluživanje radnog mjesta, prekide za odmor i prirodne potrebe obuhvaćeno je koeficijentima K_1 i K_2 .

To vrijeme obuhvaća odvijanje slijedećih aktivnosti:

- skidanje i spremanje alata
- uključivanje i isključivanje izvora struje
- postavljanje kalema sa žicom za zavarivanje u automat i sipanje praška na početku smjene, te spremanje žice i praška na kraju radnog dana
- nadzor nad opremom
- spremanje radnog mjesta i dr.

Vrijednosti koeficijenata K_1 i K_2 se nalaze u tablici 2 (u privicima). Prema toj tablici koeficijent za operativno vrijeme za zavarivanje općeg konstrukcijskog čelika u horizontalnom položaju je:

$$K_1 = 1,11$$

c) Normativ komadnog i pripremno završnog vremena za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju

Norma komadnog vremena za elektrolučno zavarivanje za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju može se izračunati pomoću slijedećeg izraza:

$$T_k = [(t_o + t_{p1}) \cdot L + t_{p2}] \cdot K_1, \text{ min} \quad (3.8)$$

gdje je: L – duljina zavora, m (u ovom slučaju $L=0,527$ m)

K_1 – koeficijent koji uzima u obzir vrijeme za posluživanje radnog mjesta, prekide za odmor i prirodne potrebe

$$T_k = [(t_o + t_{p1}) \cdot L + t_{p2}] \cdot K_1 = [(46,2 + 6,61) \cdot 0,527 + 4,2] \cdot 1,11 = 35,6 \text{ min}$$

Normativ pripremno završnog vremena za seriju je $T_{pz}=9$ min (tablica 3).

d) Vrijeme za cijelu seriju od 50 komada

Vremenska norma za malu seriju proizvoda izračunava se prema slijedećem izrazu:

$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz}, \text{ min} \quad (3.9)$$

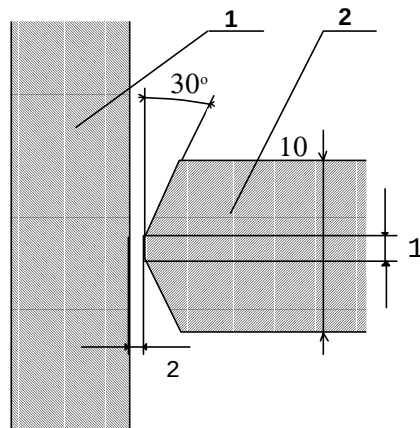
gdje je: n – broj proizvoda (sklopova) u seriji, kom.

T_{pz} – norma pripremno završnog vremena za seriju, min

$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz} = 35,6 \cdot 50 + 9 = 1789 \text{ min}$$

ZAVAR 2 (spoj pozicija 1 i 2)

Debljina zavora je 20 mm, a materijal Č 0563. Spoj je pripremljen kao "K" spoj sa kutom otvora žlijeba od 30° (slika 3.4). Zavarivanjem se postiže potpuni provar, te zbog toga operacija žlijebljenja nije potrebna. Korijen žlijeba se zavaruje u jednom prolazu elektrodom $\varnothing 3,25$ mm, a ostatak žlijeba se popunjava elektrodom $\varnothing 4$ mm.



Slika 3.4 Izgled i dimenzije zavarenog spoja (zavar 2)

Teorijska površina zavora prema izrazu (2.27) iznosi:

$$F = 0,25 \cdot (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \beta + b \cdot \delta, \text{ mm}^2$$

$$F = 0,25 \cdot (10 - 1)^2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ + 2 \cdot 10$$

$$F = 31,7 \text{ mm}^2$$

Stvarna površina zavora je povećana u odnosu na teorijsku za 10 % i ona iznosi:

$$F' = F \cdot 1,1 = 31,7 \cdot 1,1 = 35 \text{ mm}^2$$

Potreban broj prolaza:

$$F' = F_1 + n \cdot F_2$$

$$F_1 = 15 \text{ mm}^2 \text{ (za elektrodu } \varnothing 3,25 \text{ mm)}$$

$$F_2 = 18 \text{ mm}^2 \text{ (za elektrodu } \varnothing 4 \text{ mm)}$$

$$n = \frac{F' - F_1}{F_2} = \frac{35 - 15}{18} = 2 \text{ prolaza}$$

Izvodi se po jedan prolaz sa svake strane.

a) Osnovno vrijeme kod zavarivanja (t_o)

$$t_o = 60 \cdot \gamma \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{F_1}{I_1 \cdot \alpha_{n1}} + \frac{F_2}{I_2 \cdot \alpha_{n2}} + \dots + \frac{F_3}{I_3 \cdot \alpha_{n3}} \right), \text{ min/m}$$

$$t_o = 60 \cdot 0,00785 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{15}{140 \cdot 8,6} + 2 \cdot \frac{18}{160 \cdot 9,2} \right) = 17,4 \text{ min/m}$$

b) Pomoćno vrijeme (t_{p1} , t_{p2})

Efektivni volumen jedne elektrode:

$$V_{ef} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot \frac{(l_n - l_o)}{1000} \cdot k_n, \text{ cm}^3$$

Efektivni volumeni elektroda za sve zavare su jednaki zbog toga što se koriste elektrode istog promjera.

$$V_{ef1} = 2,39 \text{ cm}^3$$

$$V_{ef2} = 4,75 \text{ cm}^3$$

Vrijeme za zamjenu elektrode(t_e):

$$t_e = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef}}, \text{ min/m}$$

gdje je: t'_e - vrijeme za zamjenu elektrode, min (za opružni držač elektrode $t'_e=0,11$ min)

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 3,25 \times 350$ mm je:

$$t_{e1} = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef1}} = \frac{0,11 \cdot 15}{2,39} = 0,69 \text{ min/m}$$

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 4 \times 450$ mm je:

$$t_{e1} = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef1}} = \frac{0,11 \cdot 2 \cdot 18}{4,75} = 0,83 \text{ min/m}$$

Ukupno vrijeme za zamjenu elektroda:

$$t_e = t_{e1} + t_{e2} = 0,69 + 0,83 = 1,52 \text{ min/m}$$

Vrijeme za čišćenje šljake, pregled i mjerenje ($t_{o\check{c}}$)

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e$$

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e = 1,2 \cdot (3 - 2) + 0,6 \cdot 2 = 2,4 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa šavom koji se zavaruje je:

$$t_{p1} = t_{o\check{c}} + t_e = 2,4 + 1,52 = 3,92 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa proizvodom koji se zavaruje (t_{p2})

Ovo vrijeme obuhvaća:

- vrijeme za postavljanje proizvoda (2,1 min)
- postavljanje žiga zavarivača (0,1 min)

$$t_{p2} = 2,1 + 0,1 = 2,2 \text{ min}$$

c) Normativ komadnog i pripremno završnog vremena za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju

Koeficijent za operativno vrijeme, koji obuhvaća posluživanje radnog mjesta, prekide za odmor i prirodne potrebe kod ručnog zavarivanja općeg konstrukcijskog čelika u neudobnom položaju, iz tablice 2 (u privicima) je:

$$K_1 = 1,18$$

$$T_k = [(t_o + t_{p1}) \cdot L + t_{p2}] \cdot K_1 = [(17,4 + 3,92) \cdot 0,522 + 2,2] \cdot 1,18 = 15,7 \text{ min}$$

Duljina zavora L se izračunava pomoću formule za kružni isječak:

$$L = \frac{r \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = \frac{467 \cdot \pi \cdot 64^\circ}{180^\circ} = 522 \text{ mm}$$

Normativ pripremno završnog vremena za seriju je $T_{pz} = 9 \text{ min}$ (tablica 3).

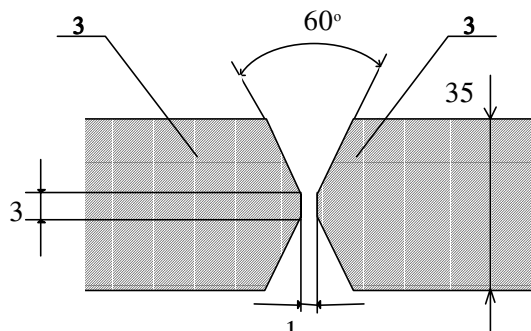
d) Vrijeme za cijelu seriju od 50 komada

$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz}, \text{ min}$$

$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz} = 15,7 \cdot 50 + 9 = 796 \text{ min}$$

ZAVAR 3 (zavar na poziciji 3)

Debljina zavora je 35 mm, a materijal Č 0563. Spoj je pripremljen kao "X" žlijeb sa kutom otvora od 60° (slika 3.5). Korijen žlijeba se zavaruje u jednom prolazu elektrodom $\varnothing 3,25 \text{ mm}$, a ostatak žlijeba se popunjava elektrodom $\varnothing 4 \text{ mm}$ u 12 prolaza (sa svake strane po 6 prolaza).



Slika 3.5 Izgled i dimenzije zavarenog spoja (zavar 3)

Teorijska površina zavara:

$$F = 0,5 \cdot (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + b \cdot \delta$$

$$F = 0,5 \cdot (35 - 3)^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{60^\circ}{2}\right) + 1 \cdot 35 = 331 \text{ mm}^2$$

Stvarna površina zavara je povećana u odnosu na teorijsku za 10 % i ona iznosi:

$$F' = F \cdot 1,1 = 331 \cdot 1,1 = 364 \text{ mm}^2$$

a) Osnovno vrijeme kod zavarivanja (t_o)

$$t_o = 60 \cdot \gamma \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{F_1}{I_1 \cdot \alpha_{n1}} + \frac{F_2}{I_2 \cdot \alpha_{n2}} + \dots + \frac{F_3}{I_3 \cdot \alpha_{n3}} \right), \text{ min/m}$$

$$t_o = 60 \cdot 0,00785 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{15}{140 \cdot 8,6} + 12 \cdot \frac{18}{160 \cdot 9,2} \right) = 75 \text{ min/m}$$

b) Pomoćno vrijeme (t_{p1} , t_{p2})

Efektivni volumen jedne elektrode:

$$V_{ef1} = 2,39 \text{ cm}^3$$

$$V_{ef2} = 4,75 \text{ cm}^3$$

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 3,25 \times 350 \text{ mm}$ je:

$$t_{e1} = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef1}} = \frac{0,11 \cdot 15}{2,39} = 0,69 \text{ min/m}$$

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 4 \times 450 \text{ mm}$ je:

$$t_{e2} = \frac{t'_e \cdot F}{V_{ef2}} = \frac{0,11 \cdot 12 \cdot 18}{4,75} = 5 \text{ min/m}$$

Ukupno vrijeme za zamjenu elektroda:

$$t_e = t_{e1} + t_{e2} = 0,69 + 5 = 5,69 \text{ min/m}$$

Vrijeme za čišćenje šljake, pregled i mjerenje ($t_{o\check{c}}$)

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e$$

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e = 1,2 \cdot (7 - 2) + 0,6 \cdot 2 = 7,2 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa šavom koji se zavaruje je:

$$t_{p1} = t_{o\check{c}} + t_e = 7,2 + 5,69 = 12,89 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa proizvodom koji se zavaruje (t_{p2})

Ovo vrijeme obuhvaća:

- vrijeme za postavljanje proizvoda (2,1 min)
- vrijeme za skidanje proizvoda (2 min)
- vrijeme za okretanje proizvoda (2,1 min)
- postavljanje žiga zavarivača (0,1 min)

$$t_{p2} = 2,1 + 2 + 2,1 + 0,1 = 6,3 \text{ min}$$

c) Normativ komadnog i pripremno završnog vremena za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju

Koeficijent za operativno vrijeme, koji obuhvaća posluživanje radnog mjesta, prekide za odmor i prirodne potrebe kod ručnog zavarivanja općeg konstrukcijskog čelika u neudobnom položaju, iz tablice 2 je:

$$K_1 = 1,18$$

$$T_k = [(t_o + t_{p1}) \cdot L + t_{p2}] \cdot K_1 = [(75 + 12,89) \cdot 0,15 + 6,3] \cdot 1,18 = 23 \text{ min}$$

gdje je: L – duljina zavora, m

Normativ pripremno završnog vremena za seriju je $T_{pz} = 9$ min (tablica 3).

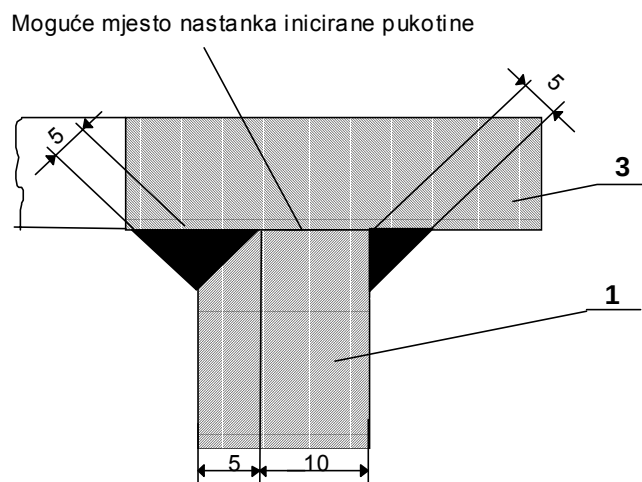
d) Vrijeme za cijelu seriju od 50 komada

$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz}, \text{ min}$$

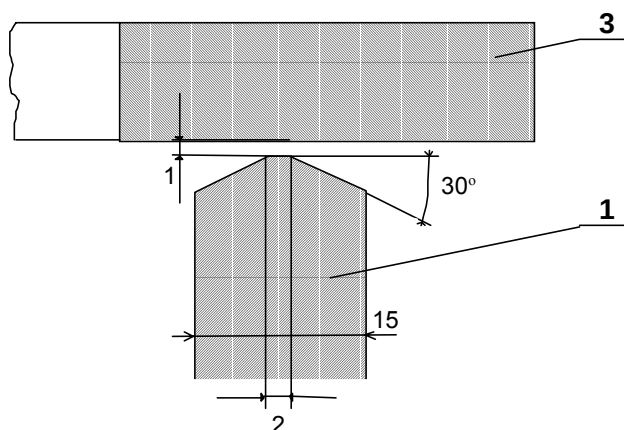
$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz} = 23 \cdot 50 + 9 = 1159 \text{ min}$$

ZAVAR 4 (spoj pozicija 1 i 3)

Dosadašnja izvedba zavora 4 je prikazana na slici 3.6. Ta izvedba je izvedena bez potpunog provara. Nepotpun provar može uzrokovati nastanak inicijalne pukotine pri dinamičkom (promjenljivom) opterećenju kojem je izložen ovaj zavar. Kao prijedlog konstrukcijski i ekonomski povoljnijeg rješenja predložen je zavar sa potpunim provarom prikazan na slici 3.7. Ovakvom izvedbom zavora između pozicije 1 i 3 osigurano je provarivanje korijena zavora, a time je uklonjena opasnost nastanka inicijalne pukotine koja može uzrokovati otkaz zavarenog spoja.



Slika 3.6 "Staro" rješenje zavora 4 sa izgledom i dimenzijama



Slika 3.7 Prijedlog "novog rješenja" zavora 4 sa izgledom i dimenzijama

Zavarivanje korijena zavora se izvodi u dva prolaza elektrodom $\varnothing 3,25$ mm. Nakon prvog prolaza s druge strane zavora se izvodi žlijebljenje korijena zavora. Po završetku žlijebljenja zavaruje se korijen zavora drugim prolazom elektrodom $\varnothing 3,25$ mm. Ostatak žlijeba se popunjava elektrodom $\varnothing 4$ mm.

Teorijska površina zavara prema izrazu (2.27):

$$F = 0,25 \cdot (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \beta + b \cdot \delta$$

$$F = 0,25 \cdot (15 - 2)^2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ + 1 \cdot 15 = 39,4 \text{ mm}^2$$

Stvarna površina zavara je povećana u odnosu na teorijsku za veličinu nadvišenja i žlijebljenja korijena zavara. Za ovaj slučaj prosječna veličina nadvišenja zavara iznosi 10% od teorijske površine žlijeba zavara, dok površina koja se žlijebi iznosi 6% od teorijske površine žlijeba za zavarivanje.

Stvarna površina zavara iznosi:

$$F' = F \cdot 1,1 \cdot 1,06 = 39,4 \cdot 1,1 \cdot 1,06 = 46 \text{ mm}^2$$

Potreban broj prolaza:

$$F' = F_1 + n \cdot F_2$$

$$F_1 = 15 \text{ mm}^2 \text{ (za elektrodu } \varnothing 3,25 \text{ mm)}$$

$$F_2 = 18 \text{ mm}^2 \text{ (za elektrodu } \varnothing 4 \text{ mm)}$$

$$n = \frac{F' - F_1}{F_2} = \frac{46 - 15}{18} = 2 \text{ prolaza}$$

Sa svake strane se izvodi po jedan prolaz.

a) Osnovno vrijeme kod zavarivanja (t_0)

$$t_o = 60 \cdot \gamma \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{F_1}{I_1 \cdot \alpha_{n1}} + \frac{F_2}{I_2 \cdot \alpha_{n2}} + \dots + \frac{F_3}{I_3 \cdot \alpha_{n3}} \right), \text{ min/m}$$

$$t_o = 60 \cdot 0,00785 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{15}{140 \cdot 8,6} + 2 \cdot \frac{18}{160 \cdot 9,2} \right) = 17,4 \text{ min/m}$$

b) Pomoćno vrijeme (t_{p1} , t_{p2})

Efektivni volumen jedne elektrode:

$$V_{ef1} = 2,39 \text{ cm}^3$$

$$V_{ef2} = 4,75 \text{ cm}^3$$

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 3,25 \times 350 \text{ mm}$ je:

$$t_{e1} = \frac{t_e' \cdot F}{V_{\text{efl}}} = \frac{0,11 \cdot 2 \cdot 15}{2,39} = 1,38 \text{ min/m}$$

Vrijeme za zamjenu elektrode $\varnothing 4 \times 450$ mm je:

$$t_{e1} = \frac{t_e' \cdot F}{V_{\text{efl}}} = \frac{0,11 \cdot 2 \cdot 18}{4,75} = 0,83 \text{ min/m}$$

Ukupno vrijeme za zamjenu elektroda:

$$t_e = t_{e1} + t_{e2} = 1,38 + 0,83 = 2,21 \text{ min/m}$$

Vrijeme za čišćenje šljake, pregled i mjerenje ($t_{o\check{c}}$):

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e$$

$$t_{o\check{c}} = k \cdot (m - m_e) + 0,6 \cdot m_e = 1,2 \cdot (5 - 2) + 0,6 \cdot 2 = 4,8 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa šavom koji se zavaruje je:

$$t_{p1} = t_{o\check{c}} + t_e = 4,8 + 2,21 = 7,01 \text{ min/m}$$

Pomoćno vrijeme povezano sa proizvodom koji se zavaruje (t_{p2})

Ovo vrijeme obuhvaća:

- vrijeme za postavljanje proizvoda (2,1 min)
- vrijeme za skidanje proizvoda (2 min)
- vrijeme za okretanje proizvoda (2,1 min)
- postavljanje žiga zavarivača (0,1 min)

$$t_{p2} = 2,1 + 2 + 2,1 + 0,1 = 6,3 \text{ min}$$

c) Normativ komadnog i pripremno završnog vremena za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju

Koeficijent za operativno vrijeme, koji obuhvaća posluživanje radnog mjesta, prekide za odmor i prirodne potrebe kod ručnog zavarivanja općeg konstrukcijskog čelika u neudobnom položaju, iz tablice 2 je:

$$K_1 = 1,18$$

$$T_k = [(t_o + t_{p1}) \cdot L + t_{p2}] \cdot K_1 = [(29 + 7,01) \cdot 2,96 + 6,3] \cdot 1,18 = 133 \text{ min}$$

Duljina zavora:

$$L = D_s \cdot \pi = 0,943 \cdot 3,14 = 2,96 \text{ m}$$

Normativ pripremno završnog vremena za seriju je $T_{pz} = 9 \text{ min}$ (tablica 3.3).

d) Vrijeme za cijelu seriju od 50 komada

$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz}, \text{ min}$$

$$T_{m.ser} = T_k \cdot n + T_{pz} = 133 \cdot 50 + 9 = 6509 \text{ min}$$

Ukupno komadno vrijeme za izradu cijelog sklopa

$$T_k = T_{k1} + T_{k2} + T_{k3} + T_{k4} \quad (3.10)$$

$$T_k = 35,6 + 16,8 + 23 + 120 = 195,4 \text{ min (3,25 sati)}$$

Ukupno vrijeme za cijelu seriju od 50 komada

$$T_{m.ser.} = T_{m.ser.1} + T_{m.ser.2} + T_{m.ser.3} + T_{m.ser.4} \quad (3.11)$$

$$T_{m.ser.} = 1789 + 796 + 1159 + 6509 = 10253 \text{ min (170,9 sati)}$$

3.3.2 Količina depozita za pojedine zavar

Količina depozita se računa prema izrazu:

$$G = F \cdot L \cdot \gamma, \text{ kg} \quad (3.12)$$

gdje je: G – količina depozita, kg

F - stvarna površina zavora, mm^2

L - duljina zavora, mm

γ - specifična masa dodatnog materijala, g/mm^3 (za čelik $\gamma = 0,00785 \text{ g/mm}^3$)

Zavar 1

$$G_1 = F_1 \cdot L_1 \cdot \gamma = 141 \cdot 0,527 \cdot 0,00785 = 0,583 \text{ kg}$$

Zavar 2

$$G_2 = F_2 \cdot L_2 \cdot \gamma = 35 \cdot 0,522 \cdot 0,00785 = 0,143 \text{ kg}$$

Zavar 3

$$G_3 = F_3 \cdot L_3 \cdot \gamma = 364 \cdot 0,15 \cdot 0,00785 = 0,429 \text{ kg}$$

Zavar 4

$$G_4 = F_4 \cdot L_4 \cdot \gamma = 46 \cdot 2,96 \cdot 0,00785 = 1,069 \text{ kg}$$

Ukupna količina depozita:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = 0,583 + 0,143 + 0,429 + 1,069 = 2,23 \text{ kg}$$

Količina depozita za cijelu seriju:

$$G_s = G \cdot n = 2,23 \cdot 50 = 111,5 \text{ kg}$$

Na elektrodu $\varnothing 3,25$ otpada 20 % ukupne količine depozita, a ostatak na elektrodu $\varnothing 4$ mm.

Za elektrodu $\varnothing 3,25$ mm:

$$G_{el1} = G_s \cdot 0,2 = 111,5 \cdot 0,2 = 22,3 \text{ kg}$$

Za elektrodu $\varnothing 4$ mm:

$$G_{el2} = G_s \cdot 0,8 = 111,5 \cdot 0,8 = 89,2 \text{ kg}$$

Ukupna količina elektroda iznosi:

$$G_{uk} = G_s \cdot k_t = 111,5 \cdot 1,7 = 190 \text{ kg}$$

3.3.3 Glavni troškovi zavarivanja

Cilj analize glavnih troškova zavarivanja prstena okretnog vijenca je odabir tehnološkog postupka zavarivanja. Pri toj analizi treba uzeti u obzir da se svi zavari (zbog nepristupačnosti, debljine, duljine, oblika žlijeba, itd.) ne mogu zavarivati svim postupcima. Tako npr. zavar 1 (sl. 3.3) je moguće ostvariti REL, MAG/MIG ili EP postupkom. Izračunavanje glavnih troškova pokazat će koji od ovih postupaka predstavlja tehnološko rješenje za svaki zavar.

ZAVAR 1 (Slika 3.3)

Ovaj zavar je moguće ostvariti REL, MAG/MIG i EP postupkom.

- **REL postupak**

1. Troškovi elektroda

Kako se kod zavarivanja REL postupkom koriste elektrode promjera $\varnothing 3,25$ i $\varnothing 4$ mm potrebno je izračunati troškove za oba promjera elektroda.

Za elektrodu $\varnothing 3,25$ mm i $\varnothing 4$ mm

$$C^1_{\text{elektroda}} = 5 \text{ DEM/kg elektroda}$$

$$k'_t = 1,7 \text{ kg/kg depozita}$$

$$T_{\text{elektroda}} = C^1_{\text{elektroda}} \cdot k'_t = 5 \cdot 1,7 = 8,5 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Za elektrodu $\varnothing 3,25$ mm

$$U = 22 \text{ V} \quad N_0 = 1 \text{ kW (za agregate)}$$

$$I = 140 \text{ A} \quad \eta = 0,55 - 0,65 \text{ (za agregate), odabire se srednja vrijednost } \eta = 0,6$$

$$\varepsilon = 0,3 \quad C_{\text{el.en}} = 0,11 \text{ DEM/kWh}$$

Koeficijent taljenja k_t (kg dep/h) prema [1] izračunava se preko koeficijenta taljenja α_n (g/A·h) (tablica 1 u privicima).

$$k_t = \frac{\alpha_n \cdot I}{1000} = \frac{8,6 \cdot 140}{1000} = 1,2 \text{ kg depozita/h}$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_0 (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C^1_{\text{el.en.}}$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{22 \cdot 140}{1000 \cdot 0,6} \cdot 0,3 + 1 \cdot (1 - 0,3) \right] \cdot \frac{1}{1,2 \cdot 0,3} \cdot 0,11 = 0,68 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4$ mm

$$U = 23 \text{ V} \quad N_0 = 1 \text{ kW (za agregate)}$$

$$I = 160 \text{ A} \quad \eta = 0,55 - 0,65 \text{ (za agregate), odabire se srednja vrijednost } \eta = 0,6$$

$$\varepsilon = 0,3 \quad C_{\text{el.en}} = 0,11 \text{ DEM/kWh}$$

$$k_t = \frac{\alpha_n \cdot I}{1000} = \frac{9,2 \cdot 160}{1000} = 1,47 \text{ kg depozita/h}$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_o (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C_{\text{el.en.}}^1$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{23 \cdot 160}{1000 \cdot 0,6} \cdot 0,3 + 1 \cdot (1 - 0,3) \right] \cdot \frac{1}{1,47 \cdot 0,3} \cdot 0,11 = 0,63 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

OD = 10 DEM , davanja društvenoj zajednici 60%.

Za elektrodu ø 3,25 mm

$$T_{\text{ODI}} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{1,2 \cdot 0,3} = 44,44 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu ø 4 mm

$$T_{\text{ODI}} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{1,47 \cdot 0,3} = 36,28 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi stroja za zavarivanje

$C_N = 3000$ DEM

Za elektrodu ø 3,25 mm

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osig.} + \text{održ.} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$

$$T_{\text{stroja}} = \frac{3000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{1,2 \cdot 0,3} = 0,57 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu ø 4 mm

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osig.} + \text{održ.} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$

$$T_{\text{stroja}} = \frac{3000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{1,47 \cdot 0,3} = 0,46 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

Za elektrodu ø 3,25 mm

$$T_1 = T_{\text{elektroda}} + T_{\text{el. energije}} + T_{\text{ODI}} + T_{\text{stroja}} = 8,5 + 0,68 + 44,44 + 0,57 = 54,19 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu ø 4 mm

$$T_2 = T_{\text{elektroda}} + T_{\text{el. energije}} + T_{\text{ODI}} + T_{\text{stroja}} = 8,5 + 0,63 + 36,28 + 0,46 = 45,87 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi za zavar 1:

$$T_{uk1} = T_1 \cdot 0,2 \cdot G_1 = 54,19 \cdot 0,2 \cdot 0,583 = 6,32 \text{ DEM}$$

$$T_{uk2} = T_2 \cdot 0,8 \cdot G_1 = 45,87 \cdot 0,8 \cdot 0,583 = 21,39 \text{ DEM}$$

$$T_{z1} = T_{uk1} + T_{uk2} = 6,32 + 21,39 = 27,71 \text{ DEM}$$

Troškovi zavara 1 za cijelu seriju:

$$T_{ser1} = T_{z1} \cdot n = 27,71 \cdot 50 = 1385,5 \text{ DEM}$$

• **MAG/MIG postupak**

1. Troškovi žice

$$C_{žice} = 2,1 \text{ DEM/kg žice}$$

$$k'_t = 1,05 \text{ kg žice/kg depozita}$$

$$T_{žice} = C_{žice} \cdot k'_t = 2,1 \cdot 1,05 = 2,205 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Zavarivanje se izvodi žicom $\varnothing 4 \text{ mm}$.

$$U = 25 \text{ V} \quad N_0 = 1 \text{ kW (za agregate)}$$

$$I = 180 \text{ A} \quad \eta = 0,8$$

$$\varepsilon = 0,5 \quad C_{el.en} = 0,11 \text{ DEM/kWh}$$

$$k_t = 1,8 \text{ kg depozita/h}$$

$$T_{el. energije} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_0 (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C_{el.en}^1$$

$$T_{el. energije} = \left[\frac{25 \cdot 180}{1000 \cdot 0,8} \cdot 0,5 + 1 \cdot (1 - 0,5) \right] \cdot \frac{1}{1,8 \cdot 0,5} \cdot 0,11 = 0,405 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

$OD = 10 \text{ DEM}$, davanja društvenoj zajednici 60%.

$$T_{ODI} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{1,8 \cdot 0,5} = 17,78 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi plina

$$C_{CO_2} = 0,001 \text{ DEM/l}$$

$$K_{\text{CO}_2} = 310 \text{ l/kg depozita}$$

$$T_{\text{CO}_2} = C_{\text{CO}_2} \cdot K_{\text{CO}_2} = 0,001 \cdot 310 = 0,31 \text{ DEM/kg depozita}$$

5. Troškovi stroja za zavarivanje

$$C_N = 5000 \text{ DEM}$$

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osig.} + \text{održ.} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$

$$T_{\text{stroja}} = \frac{5000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{1,8 \cdot 0,5} = 0,38 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

$$T_{\text{uk}} = T_{\text{žice}} + T_{\text{el.en}} + T_{\text{ODI}} + T_{\text{CO}_2} + T_{\text{stroja}} = 2,205 + 0,405 + 17,78 + 0,31 + 0,38 = 21,08 \text{ DEM/kg depozita}$$

$$T_{z1} = T_{\text{uk}} \cdot G_1 = 21,08 \cdot 0,583 = 12,29 \text{ DEM}$$

Troškovi zavara 1 za cijelu seriju:

$$T_{\text{ser1}} = T_{z1} \cdot n = 12,29 \cdot 50 = 614,5 \text{ DEM}$$

• EP postupak

1. Troškovi žice

$$C_{\text{žice}} = 2,1 \text{ DEM/kg žice}$$

$$k'_t = 1,02 \text{ kg žice/kg depozita}$$

$$T_{\text{žice}} = C_{\text{žice}} \cdot k'_t = 2,1 \cdot 1,02 = 2,142 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Zavarivanje se izvodi žicom $\varnothing 4 \text{ mm}$.

$$U = 30 \text{ V} \quad N_0 = 1 \text{ kW (za agregate)}$$

$$I = 600 \text{ A} \quad \eta = 0,9$$

$$\varepsilon = 0,9 \quad C_{\text{el.en}} = 0,11 \text{ DEM/kWh}$$

$$k_t = 6 \text{ kg depozita/h}$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_0 (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C_{\text{el.en.}}^1$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{30 \cdot 600}{1000 \cdot 0,9} \cdot 0,9 + 1 \cdot (1 - 0,9) \right] \cdot \frac{1}{6 \cdot 0,9} \cdot 0,11 = 0,37 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

$OD = 10 \text{ DEM}$, davanja društvenoj zajednici 60%.

$$T_{ODI} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{6 \cdot 0,9} = 2,96 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi praška

$$C_p = 0,001 \text{ DEM/l}$$

$$T_p = 1,2 \cdot C_p = 1,2 \cdot 2,1 = 2,52 \text{ DEM/kg depozita}$$

5. Troškovi stroja za zavarivanje

$$C_N = 8000 \text{ DEM}$$

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osig.} + \text{održ.} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$

$$T_{\text{stroja}} = \frac{8000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{6 \cdot 0,9} = 0,10 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

$$T_{\text{uk}} = T_{\text{zice.}} + T_{\text{el.en}} + T_{ODI} + T_p + T_{\text{stroja}} = 2,142 + 0,37 + 2,96 + 2,52 + 0,10 = 8,09 \text{ DEM/kg depozita}$$

$$T_{z1} = T_{\text{uk}} \cdot G_1 = 8,09 \cdot 0,583 = 404,5 \text{ DEM}$$

Troškovi zavora 1 za cijelu seriju:

$$T_{\text{ser1}} = T_{z1} \cdot n = 8,09 \cdot 50 = 404,5 \text{ DEM}$$

Iz izračunatih glavnih troškova zavarivanja za zavar 1 vidljivo je kako zavarivanje EP postupkom daje najmanje troškove. Zbog toga je zavarivanje zavora 1 ovim postupkom tehnološkično rješenje. Glavni troškovi zavarivanja zavora 1 za cijelu seriju od 50 komada iznose 404,5 DEM.

ZAVAR 2 (Slika 3.4)

Ovaj zavar je moguće ostvariti REL i MAG/MIG postupkom.

- **REL postupak**

Pri zavarivanju zavara 2, 3 i 4 REL postupkom parametri i elektrode kojima se zavaruje odgovaraju onima pri zavarivanju zavara 1. Zbog toga su svi troškovi koji su svedeni na kg depozita (troškovi elektroda, troškovi električne energije, troškovi osobnog dohotka izrade, troškovi stroja i ukupno glavni troškovi) jednaki.

1. Troškovi elektroda

$$T_{\text{elektroda}} = 8,5 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{\text{el. energije}} = 0,68 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{\text{el. energije}} = 0,63 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{\text{ODI}} = 44,44 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{\text{ODI}} = 36,28 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi stroja za zavarivanje

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{\text{stroja}} = 0,57 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{\text{stroja}} = 0,46 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_1 = 54,19 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing$ 4 mm

$T_1 = 45,87$ DEM/kg depozita

Ukupno glavni troškovi za zavar 2:

$$T_{uk1} = T_1 \cdot 0,2 \cdot G_2 = 54,19 \cdot 0,2 \cdot 0,143 = 1,55 \text{ DEM}$$

$$T_{uk2} = T_2 \cdot 0,8 \cdot G_2 = 45,87 \cdot 0,8 \cdot 0,143 = 5,25 \text{ DEM}$$

$$T_{z2} = T_{uk1} + T_{uk2} = 1,55 + 5,25 = 6,80 \text{ DEM}$$

Troškovi zavar 2 za cijelu seriju:

$$T_{ser2} = T_{z2} \cdot n = 6,80 \cdot 50 = 340 \text{ DEM}$$

• **MAG/MIG postupak**

Pri zavarivanju zavar 2, 3 i 4 MAG/MIG postupkom parametri zavarivanja su jednaki parametrima pri zavarivanju zavar 1. Zbog toga su svi troškovi koji su svedeni na kg depozita jednaki za sve zavare.

1. Troškovi žice

$$T_{žice} = 2,205 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

$$T_{el. energije} = 0,405 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

$$T_{ODI} = 17,78 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi plina

$$T_{CO2} = 0,31 \text{ DEM/kg depozita}$$

5. Troškovi stroja za zavarivanje

$$T_{stroja} = 0,38 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

$$T_{uk} = 21,08 \text{ DEM/kg depozita}$$

$$T_{z2} = T_{uk} \cdot G_2 = 21,08 \cdot 0,143 = 3,01 \text{ DEM}$$

Troškovi zavara 2 za cijelu seriju:

$$T_{\text{ser2}} = T_{z2} \cdot n = 3,01 \cdot 50 = 151 \text{ DEM}$$

Izračunati glavni troškovi zavarivanja pokazuju kako je zavarivanje zavara 2 MAG/MIG postupkom tehnološkično rješenje. Glavni troškovi zavarivanja zavara 2 za cijelu seriju od 50 komada iznose 151 DEM.

ZAVAR 3 (Slika 3.5)

Analiza glavnih troškova zavarivanja zavara 3 provodi se za REL i MAG/MIG postupak.

- **REL postupak**

1. Troškovi elektroda

$$T_{\text{elektroda}} = 8,5 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{\text{el. energije}} = 0,68 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{\text{el. energije}} = 0,63 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{\text{ODI}} = 44,44 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{\text{ODI}} = 36,28 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi stroja za zavarivanje

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{\text{stroja}} = 0,57 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{\text{stroja}} = 0,46 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

Za elektrodu $\varnothing$ 3,25 mm

$T_1 = 54,19$ DEM/kg depozita

Za elektrodu $\varnothing$ 4 mm

$T_2 = 45,87$ DEM/kg depozita

Ukupno glavni troškovi za zavar 3:

$T_{uk1} = T_1 \cdot 0,2 \cdot G_3 = 54,19 \cdot 0,2 \cdot 0,429 = 4,65$ DEM

$T_{uk2} = T_2 \cdot 0,8 \cdot G_3 = 45,87 \cdot 0,8 \cdot 0,429 = 15,74$ DEM

$T_{z3} = T_{uk1} + T_{uk2} = 4,65 + 15,74 = 20,39$ DEM

Troškovi zavara 3 za cijelu seriju:

$T_{ser3} = T_{z3} \cdot n = 20,39 \cdot 50 = 1020$ DEM

- **MAG/MIG postupak**

1. Troškovi žice

$T_{žice} = 2,205$ DEM/kg depozita

2. Troškovi električne energije

$T_{el. energije} = 0,405$ DEM/kg depozita

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

$T_{ODI} = 17,78$ DEM/kg depozita

4. Troškovi plina

$T_{CO2} = 0,31$ DEM/kg depozita

5. Troškovi stroja za zavarivanje

$T_{stroja} = 0,38$ DEM/kg depozita

Ukupno glavni troškovi:

$T_{uk} = 21,08$ DEM/kg depozita

$$T_{z3} = T_{uk} \cdot G_3 = 21,08 \cdot 0,429 = 9,04 \text{ DEM}$$

Troškovi zavara 3 za cijelu seriju:

$$T_{ser3} = T_{z3} \cdot n = 9,04 \cdot 50 = 452,2 \text{ DEM}$$

Iz izračunatih glavnih troškova zavarivanja vidljivo je kako je zavarivanje zavara 3 MAG/MIG postupkom tehnološkično rješenje. Glavni troškovi zavarivanja zavara 3 za cijelu seriju od 50 komada uznose 452,2 DEM.

ZAVAR 4 (Slika 3.7)

Analiza glavnih troškova zavarivanja zavara 4 provodi se za REL i MAG/MIG postupak.

- **REL postupak**

1. Troškovi elektroda

$$T_{elektroda} = 8,5 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{el. energije} = 0,68 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{el. energije} = 0,63 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{ODI} = 44,44 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing 4 \text{ mm}$

$$T_{ODI} = 36,28 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi stroja za zavarivanje

Za elektrodu $\varnothing 3,25 \text{ mm}$

$$T_{stroja} = 0,57 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing$ 4 mm

$$T_{\text{stroja}} = 0,46 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

Za elektrodu $\varnothing$ 3,25 mm

$$T_1 = 54,19 \text{ DEM/kg depozita}$$

Za elektrodu $\varnothing$ 4 mm

$$T_2 = 45,87 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi za zavar 4:

$$T_{\text{uk1}} = T_1 \cdot 0,2 \cdot G_4 = 54,19 \cdot 0,2 \cdot 1,069 = 11,59 \text{ DEM}$$

$$T_{\text{uk2}} = T_2 \cdot 0,8 \cdot G_4 = 45,87 \cdot 0,8 \cdot 1,069 = 39,22 \text{ DEM}$$

$$T_{\text{z4}} = T_{\text{uk1}} + T_{\text{uk2}} = 11,59 + 39,22 = 50,81 \text{ DEM}$$

Troškovi zavara 4 za cijelu seriju:

$$T_{\text{ser4}} = T_{\text{z4}} \cdot n = 50,81 \cdot 50 = 2541 \text{ DEM}$$

- **MAG/MIG postupak**

1. Troškovi žice

$$T_{\text{žice}} = 2,205 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

$$T_{\text{el. energije}} = 0,405 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

$$T_{\text{ODI}} = 17,78 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi plina

$$T_{\text{CO2}} = 0,31 \text{ DEM/kg depozita}$$

5. Troškovi stroja za zavarivanje

$$T_{\text{stroja}} = 0,38 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

$$T_{uk} = 21,08 \text{ DEM/kg depozita}$$

$$T_{z4} = T_{uk} \cdot G_4 = 21,08 \cdot 1,069 = 22,53 \text{ DEM}$$

Troškovi zavora 4 za cijelu seriju:

$$T_{ser4} = T_{z4} \cdot n = 22,53 \cdot 50 = 1127 \text{ DEM}$$

Iz izračunatih glavnih troškova zavarivanja zavora 4 vidljivo je da su troškovi MAG/MIG zavarivanja manji od troškova REL zavarivanja. Zbog toga je zavarivanje zavora 4 MAG/MIG postupkom tehnološkično rješenje.

Ukupni glavni troškovi pojedinih zavora i čitave serije prikazani su u tablici 3.1.

Tablica 3.1 *Ukupni glavni troškovi za pojedine zapore i cijelu seriju T_z i T_{ser}*

POSTUPAK ZAVARIVANJA	ZAVAR 1		ZAVAR 2		ZAVAR 3		ZAVAR 4	
	Ukupni glavni troškovi, T_z	Ukupni gl. tr. za cijelu seriju, T_{ser}	Ukupni glavni troškovi, T_z	Ukupni gl. tr. za cijelu seriju, T_{ser}	Ukupni glavni troškovi, T_z	Ukupni gl. tr. za cijelu seriju, T_{ser}	Ukupni glavni troškovi, T_z	Ukupni gl. tr. za cijelu seriju, T_{ser}
	DEM	DEM	DEM	DEM	DEM	DEM	DEM	DEM
REL	27,71	1385,5	6,80	340	20,39	1020	50,81	2541
MAG/MIG	12,49	614,5	3,06	151	9,19	452,5	22,90	1127
EP	8,09	404,5	-	-	-	-	-	-

Na osnovu rezultata analize glavnih troškova zavarivanja češće korištenih postupaka zavarivanja odabrani su slijedeći postupci zavarivanja za pojedine zapore:

- Zavar 1 - zavarivanje se izvodi EP postupkom ($T_{ser1} = 404,5 \text{ DEM}$)
- Zavar 2 - zavarivanje se izvodi MAG/MIG postupkom ($T_{ser2} = 151 \text{ DEM}$)

- Zavar 3 - zavarivanje se izvodi MAG/MIG postupkom ($T_{\text{ser3}} = 452,2$ DEM)
- Zavar 4 - zavarivanje se izvodi MAG/MIG postupkom ($T_{\text{ser4}} = 1127$ DEM)

Uzimajući u obzir odabrane postupke zavarivanja glavni troškovi zavarivanja za cijelu seriju su:

$$T_{\text{ser}} = T_{\text{ser1}} + T_{\text{ser2}} + T_{\text{ser3}} + T_{\text{ser4}} = 404,5 + 151 + 452,2 + 1127 = 2134,7 \text{ DEM}$$

Izborom tehnološkog postupka zavarivanja za svaki zavar ostvaruju se najmanji troškovi zavarivanja cijelog sklopa. Na osnovu već izračunatih vrijednosti, glavni troškovi zavarivanja za cijelu seriju od 50 komada iznose $T_{\text{ser}} = 2134,7$ DEM.

Ako bi se zavarivanje svih zavara izvodilo REL zavarivanjem, troškovi serije bi iznosili $T_{\text{ser}} = 5286,5$ DEM, dok bi zavarivanje svih zavara MAG/MIG postupkom smanjilo troškove serije na $T_{\text{ser}} = 2345$ DEM. Zavarivanje MAG/MIG postupkom daje niži iznos glavnih troškova u usporedbi sa REL zavarivanjem, ali ipak veći iznos od već izabranog tehnološkog rješenja (kombinacije EP i MAG/MIG postupka zavarivanja).