



## MODERNI SISTAVI ZA AUTOMATSKO ZAVARIVANJE MAGISTRALNIH CJEVOVODA

Slobodan KRALJ <sup>1)</sup>, Zoran KOŽUH <sup>1)</sup>, Ivica GARAŠIĆ <sup>1)</sup>

**Ključne riječi:** cjevovodi, automatsko zavarivanje

**Key words:**

**Sažetak:** Izgradnja magistralnih plinovoda predstavlja velike zahtjeve na tehnologiju zavarivanja. Konvencionalne ručne tehnologije zavarivanja sve teže prate zahtjeve ne samo sa stanovišta osiguravanja kvalitete zavarenih spojeva već i s ekonomskog, tehnološkog i metalurškog gledišta. Iako primjena automatskog zavarivanja ima limitirajuće čimbenike, moguće je uz adekvatnu opremu, izvore struje, organizaciju i logistiku postići izvrsne rezultate i u teškim radnim uvjetima. U ovom radu dan je pregled modernih sustava za automatsko zavarivanje magistralnih cjevovoda i njihovih specifičnosti. Uz to, predstavljena su iskustva primjene automatskog zavarivanja pri izgradnji magistralnog plinovoda Pula-Karlovac.

**Abstract:**

---

<sup>1)</sup> Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 1, Zagreb, e-mail: fsb.zk@fsb.hr



## 1. UVOD

Izgradnja modernih cjevovodnih sustava za transport plina zahtjeva primjenu sofisticiranih tehnologija. Jedna od najosjetljivijih tehnologija je zavarivanje jer diktira uvjete u izgradnji, od same brzine napredovanja cjevovoda pa do sigurnosti u eksploataciji. S druge strane, od plinovoda se zahtijevaju sve veći transportni kapaciteti uz zadržavanje strukturne postojanosti i minimalizacije rizika, posebno kada se radi o vremenskom aspektu korištenja ovakvih sustava. Vremenom se ovisno o transportiranom mediju i sustavu antikorozijske zaštite mogu očekivati problemi poput smanjenja debljine stjenke, stvaranja oštećenja nastalih zbog strujanja plina i sl. Uz to, moguća su i dinamička opterećenja koja se često zanemaruju a iskustva su pokazala da su vrlo česta npr. dinamički udari pri ekstremnim situacijama, puštanju u pogon i sl. Da bi se zadovoljili svi uporabni i tehnološki zahtjevi, sve više se primjenjuju moderni čelični materijali koji imaju izvrsna eksploatacijska svojstva, ali zahtijevaju i izuzetnu tehnološku disciplinu što posebno dolazi do izražaja pri zavarivanju jer se premalim ili prevelikim unosom topline ili odabirom neodgovarajućeg dodatnog materijala, te neodgovarajućom tehnologijom zavarivanja degradiraju mehanička svojstva zavarenog spoja.

Gledajući s ergonomске i humane strane, rokovi i trasa diktiraju tempo izgradnje koji postavlja visoke zahtjeve na zavarivača. Teški vremenski uvjeti, rad u prisilnim položajima, toplina od predgrijavanja cijevi, brušenje međuprolaza i čišćenje od troske koji su nužni za osiguravanje kvalitete zavarenog spoja stvaraju vrlo teške radne uvjete u kojima greške nastaju zbog umora zavarivača. To svakako dodatno otežava činjenica da se traže sve kvalitetniji spojevi pri čemu se granica prihvatljivosti podiže sve više. U takvim uvjetima teško je zadržati potpunu koncentraciju i osigurati kvalitetu i zato se nastoji konvencionalne ručne tehnike zamijeniti sustavima za automatsko zavarivanje, pri čemu je radno opterećenje operatera znatno manje.

To potvrđuje i primjena automatskog zavarivanja na magistralnom plinovodu od Pule do Karlovca duljine 191 km gdje su usprkos zahtjevnoj trasi i teškim radnim uvjetima postignuti izvrsni rezultati i to u iznimno kratkom roku od 7 mjeseci. Postignuta kvaliteta zavarenih spojeva znatno pridonosi očuvanju strukturalnog integriteta plinovoda u ekološki osjetljivom području i naseljenim područjima i to na objektu koji povezuje nalazišta plina u Jadranskom moru s plinsko distributivnim sustavom RH.

## 2. OSNOVNE VARIJANTE ZAVARIVANJA CJEVOVODA

Odabirom tehnologije zavarivanja utječe se na kvalitetu i ekonomičnost zavarivanja pri izgradnji cjevovoda te sigurnost u eksploataciji. Osnovni čimbenici koji utječu na odabir tehnologije zavarivanja pri izgradnji cjevovoda su:

1. duljina cjevovoda
2. rok izvedbe
3. vrsta materijala,
4. promjer i debljina stjenke cijevi
5. konfiguracija terena
6. klimatski uvjeti
7. uvježbani zavarivači.

Važno je napomenuti da postoji nekoliko osnovnih načina za zavarivanje korijena, popune i završnih prolaza, ovisno o odabranoj tehnologiji. Također, moguća je i kombinacija ručnih i automatskih postupaka zavarivanja za jedan zavareni spoj.

Osnovne varijante zavarivanja korijena, popune i završnih prolaza dane su u tablicama 1 i 2.

Tablica 1. Varijante zavarivanja korijenskog prolaza

Varijanta zavarivanja	Prednosti	Nedostaci
<b>Ručno REL, TIG Poluautomatski MAG</b>	- Standardna priprema	- Sporo - Promjenjiva kvaliteta
<b>Automatsko MAG zavarivanje izvana-unutarnji centralizer s bakrenom podloškom</b>	- Standardna priprema - Jednolika penetracija	- Visoka cijena opreme - Mogućnost pojave bakrenih uključaka
<b>Automatsko MAG zavarivanje iznutra</b>	- Vrlo brzo - Na istoj stanici vanjska glava zavaruje vrući prolaz	- Više grešaka - Visoka cijena opreme - Posebna priprema žlijeba - Loš korijen se mora izrezati - Primjena samo na većim promjerima od 500mm
<b>Poluautomatski ili mehanizirani MAG-STT</b>	- Velika količina nataljenog metala u korijenskom prolazu eliminira vrući prolaz - Niska količina difundiranog vodika - Nema uključaka troske - Zavarivanje izvana omogućuje i popravke izvana	- Posebna priprema žlijeba - Sporije od zavarivanja korijena s unutarnje strane

Tablica 2. Varijante zavarivanja popune i završnih prolaza

Varijanta zavarivanja	Prednosti	Nedostaci
<b>Ručno REL, Poluautomatski MAG, Praškom punjena žica</b>	- Standardna priprema	- Sporo - Promjenjiva kvaliteta
<b>Automatski MAG prema dolje</b>	- Veća brzina zavarivanja - Uska priprema žlijeba minimalizira vrijeme zavarivanja popune - Manje dodatnog materijala	- Posebna priprema žlijeba - Više prolaza - Problematična kontrola prijenosa metala u kratkom spoju - Velika brzina onemogućuje kvalitetno kontrolno praćenje od strane operatera
<b>Automatsko zavarivanje praškom punjenom žicom prema gore</b>	- Tolerantan proces - Primjena standardne ili posebne pripreme žlijeba - Visoki depozit - Manje prolaza	- Zahtijeva se čišćenje četkom između prolaza - Manja brzina - Pojava uključaka troske

Automatsko zavarivanje se prvenstveno primjenjuje za zavarivanje dugačkih cjevovoda s debljom stjenkom. Kolika je granična duljina teško je konkretno odrediti jer se često susreću i drugi faktori koji zahtijevaju primjenu automatskog zavarivanja.

Potrebno je naglasiti da se i kod automatskog zavarivanja cjevovoda susrećemo s više mogućih alternativa koje se prvenstveno odnose na tehnologiju zavarivanja korijena. Danas se najčešće primjenjuju dva osnovna koncepta automatskog zavarivanja:

1. ručno zavarivanje korijena i automatsko zavarivanje popune i završnih slojeva;



2. kompletno automatsko zavarivanje svih prolaza, od korijena do završnih slojeva (pri čemu je moguće zavarivanje korijenskog prolaza s unutarnje strane cijevi).

Ovisno o odabranom konceptu razlikuje se i potrebna oprema, broj zavarivača (ili operatera), dodatni materijal i način pripreme spoja.

### **2.1. Kombinacija ručnog zavarivanja korijena i automatskog zavarivanja**

Kombinacija ručnog zavarivanja za korijen i automatskog zavarivanja za popunu je ekonomski učinkovita, ali su brzine zavarivanja niže nego s kompletnom automatizacijom te se preporuča za cjevovode manje duljine do 50 km. Kod većih duljina cjevovoda gubi se prednost nižeg početnog ulaganja i počinje se isplaćivati skuplje ulaganje u opremu za kompletno automatsko zavarivanje.

#### **Priprema spoja**

Cijevi se mogu zavarivati s klasičnom pripremom i nije potrebna posebna obrada rubova cijevi za što se koriste uređaji za obradu odvajanjem čestica što dodatno poskupljuje postupak. Cijevi se poravnavaju s unutarnjim pneumatskim centralizerom uz razmak od 1,5 do 3 mm.

#### **Zavarivanje korijena**

Korijen se zavaruje ručno celuloznom elektrodom ili posebno prilagođenim MAG postupcima (npr. STT), prema dolje. Često se primjenjuje za zavarivanje korijena i TIG postupak koji ima nisku produktivnost ali se osigurava čisti metal korijenskog prolaza te se eliminira pojava troske s unutarnje strane cijevi. Kod TIG-a se zahtijeva širi razmak cijevi od 3 do 4 mm.

#### **Zavarivanje popune i završnih prolaza**

Nakon završetka korijenskog prolaza na cijev se montira čelična traka po obodu koja služi kao vodilica za MAG zavarivanje popune i završnih prolaza i to prema gore, pri čemu se koriste dvije glave. Kao dodatni materijal koristi se puna ili praškom punjena žica te se shodno dodatnom materijalu prilagođava i zaštitna plinska mješavina. Odabir dodatnog materijala bazira se na kvaliteti osnovnog materijala cijevi.

Još jedan važan aspekt kod odabira dodatnog materijala je i učinkovitost. Praškom punjena žica ima nešto veću produktivnost tako da se često koristi u kombinaciji s ručnim zavarivanjem korijena.

Učin nataljenog materijala kod pune žice je oko 3 kg/h, dok se sa praškom punjenom žicom može postići i više od 3,5 kg/h (za usporedbu: maksimalni učin kod REL zavarivanja celuloznim elektrodama promjera 5mm je 1,7 kg/h). U obzir se mora uzeti da je kod REL zavarivanja potrebna i veća količina nataljenog materijala zbog klasične V-pripreme s otvorom kuta od 60°.

Prva glava za zavarivanje kreće od položaja 6 sati te se uz određenu frekvenciju njihanja i zadržavanja na rubovima penje prema gore. Druga glava počinje s malim kašnjenjem kako bi se omogućilo preklapanje na kraju spoja i pretaljivanje završetaka.

Ova kombinacija ručnog i automatskog zavarivanja se primjenjuje kada su ograničeni financijski resursi ili kad postoji znatno odstupanje od kružnosti rubova cijevi jer se takvi nedostaci lakše prevladavaju ručnim zavarivanjem. Potrebno je imati barem tri zavarivačke postaje (ovisno o debljini stijenke), svaku s dvije glave za zavarivanje.



## **2.2. Kompletno automatsko zavarivanje**

Potpuno automatsko MAG orbitalno zavarivanje je znatno brže od kombinacije ali zahtijeva i veća ulaganja.

### **Priprema spoja**

Rubovi cijevi trebaju se obraditi posebnim uređajem koji strojnom obradom oblikuje U žlijeb vrlo malog kuta otvora tako da se minimalizira potrebna količina dodatnog materijala. Cijevi se pozicioniraju pomoću pneumatskog unutarnjeg centralizera s bakrenom podloškom, što osigurava zadržavanje i oblikovanje taline pri zavarivanju. Bakrena podloška omogućuje sigurni provar uz maksimalno nadvišenje korijena do 1mm, što smanjuje dinamičke gubitke strujanja medija.

### **Zavarivanje korijena i vrućeg prolaza**

Korijen se zavaruje prema dolje s dvije glave istovremeno, i to bez njihanja. Priprema spoja nema razmaka tako da se primjenjuju jake struje kako bi se ostvario provar. Prva glava kreće od 12 sati, dok druga glava kreće tek kada se stvori dovoljan odmak prve glave (položaj oko 2 sata). Koristi se puna žica s adekvatnom plinskom mješavinom kojoj za prvi prolaz treba povećati udio ugljičnog dioksida kako bi se dobilo više energije i sigurniji provar. Kako je ponekad potrebno mijenjati sastav plinske mješavine ovisno prolazu, preporučuje se instalacija automatske jedinice za miješanje plinova na zavarivačkom traktoru. Za stabilne parametre zavarivanja nužno je imati adekvatan izvor struje, ispravljač ili inverter, koji mogu kompenzirati promjene ulaznog napona od strane generatora struje. Uz to, ovisno o položaju zavarivanja, nužno je provesti prilagodbu parametara tj. struje zavarivanja. To se postiže automatskom regulacijom uz pomoć upravljačke jedinice koja na temelju isprogramiranih vrijednosti mijenja struju zavarivanja ovisno o položaju glave. Vrući prolaz se zavaruje na isti način kao i korijen.

### **Zavarivanje popune i završnih prolaza**

Popuna i završni prolazi zavaruju se na isti način kao i korijen. Ovisno o debljini stjenke, moguće je instalirati i do pet zavarivačkih stanica s dvije glave za zavarivanje. Kod zavarivanja popune i završnih prolaza provodi se njihanje uz određenu frekvenciju i pomak. Učinkovitost kod zavarivanja popune i završnih prolaza punom žicom raste do 5,1 kg/h te raste i broj zavara po danu. Kvaliteta spojeva je dobra uz učestalost popravaka između 3 i 5 %.

## **3. AUTOMATSKO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE CJEVOVODA U PLINSKOJ ZAŠTITI-USPOREDBA S KONVENCIONALNIM POSTUPCIMA**

Paralelno s povećanjem intenziteta izgradnje cjevovoda bilježi se i značajan razvoj sustava za automatsko elektrolučno zavarivanje cjevovoda iako se u novije vrijeme javljaju i hibridni sustavi Laser-MAG [1]. Međutim, za zavarivanje cijevi velikih promjera koristi se postupak MAG zavarivanja. Da bi se postigao tehnološki ispravan i ekonomski isplativ sustav za automatsko zavarivanje cjevovoda nužno je integrirati kvalitetan izvor struje, glave za zavarivanje (koje se često sastoje od više pištolja), sustav za dovod žice, vodilice (koje omogućuju kretanje glava po obodu cijevi) i upravljački sustav. Operater je zadužen za pozicioniranje sustava, puštanje u pogon i kontrolu pri radu. Izuzetno je važno uz osnovne



parametre zavarivanja prilagoditi i sastav plinske mješavine koja znatno utječe na geometriju i kvalitetu zavarenog spoja.

U novije vrijeme vidljivo je da se koriste sofisticirani mikroprocesorski upravljani izvori struje koji pomoću ugrađenog algoritma reguliraju prijenos metala u električnom luku te osiguravaju stabilnost procesa. Sofisticirani sustavi za vođenje glave za zavarivanje omogućuju i njihanje što je posebno značajno kod zavarivanja popune i završnih prolaza. Uobičajeno se pri zavarivanju korijenskog prolaza primjenjuju podloške, međutim kod novih inačica moguće je zavarivanje korijenskog prolaza bez podloške što smanjuje rizik od uključaka bakra koji se mogu javiti u korijenskom prolazu kada se za materijal podloški koristi bakar. Također je vidljivo da se za automatske sustave razvijaju i namjenski dodatni materijali tj. žice i praškom punjene žice te posebni omjeri plinskih mješavina kako bi se u što boljoj mjeri iskoristili potencijali automatskog zavarivanja.

Uzimajući u obzir ekonomsko tehnološke parametre automatsko zavarivanje ima niz prednosti pred konvencionalnim ručnim tehnologijama, ali postoje i ograničenja koja treba uzeti u obzir pri projektiranju tehnologije zavarivanja.

Kao prednosti moguće je navesti sljedeće:

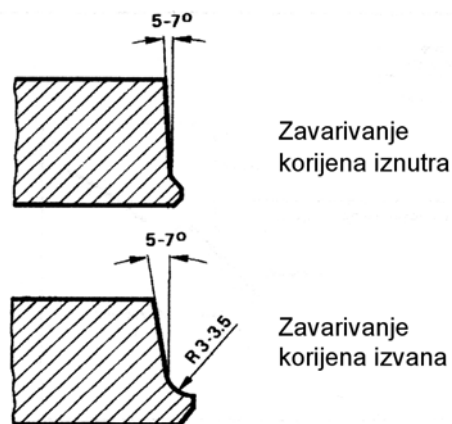
- Veća količina nataljenog materijala u jedinici vremena.
- Veća brzina zavarivanja.
- Veća produktivnost.
- Manji broj grešaka i popravaka.
- Bolja kontrola geometrije zavara za svaki prolaz zasebno pri čemu se postiže ujednačenost oblika zavara i penetracije.
- Bolja kontrola unosa topline što je posebno bitno kod čelika visoke čvrstoće jer je u uskim granicama moguće utjecati na unos topline a i omogućena je visoka ponovljivost što garantira minimalna odstupanja mehaničkih svojstava.
- Veća iskoristivost dodatnog materijala jer nema bacanja polupotrošenih elektroda niti rezanja kraja žice zbog izvođenja nastavaka. Također je bitno naglasiti da se optimiranjem prijenosa metala u električnom luku minimalizira štrcanje koje zahtjeva i kasnije čišćenje brušenjem.
- Eliminacija nastavaka jer je moguće svaki sloj zavariti u jednom prolazu, za razliku od elektroda ili poluautomatskog zavarivanja.
- Manje brušenja u odnosu na zavarivanje celulozno obloženom elektrodom zbog eliminacije specifičnog nadvišenja koje nastaje zavarivanjem korijenskog prolaza.
- Neovisnost o tržištu zavarivača gdje je npr. za REL zavarivanje celulozno obloženom elektrodom vrlo često teško naći dovoljan broj zavarivača kako bi se postigli traženi rokovi i uvjeti.
- Manja količina vodika u metalu zavara u odnosu na celulozno obložene elektrode što ima posebnu važnost kada se uzme u obzir primjena čelika visoke čvrstoće koji su posebno osjetljivi na pojavu hladnih pukotina.
- Izbacivanje tobolaca za grijanje elektroda i posebnih uvjeta čuvanja i pripremanja specifičnih za obložene elektrode s bazičnom oblogom.

S druge strane prisutni su sljedeći problemi:

- Skupa i složena oprema.
- Ovisnost primjene o složenosti trase, jer za specijalne točke su još uvijek neophodni zavarivači.
- Mogući su problemi s plinskom zaštitom kod jakog vjetra i lošeg vremena.
- Znatno veći zahtjevi za održavanjem opreme.
- Zahtjeva se jaka logistika.



Automatsko zavarivanje MAG postupkom zahtijeva velika ulaganja u radne stanice i logistiku, kao i u obuku operatera. Također, priprema spoja mora biti jako kvalitetna, te nema fleksibilnosti ako postoji npr. nejednolik razmak ili smaknuće cijevi. Uobičajena priprema spoja za automatsko MAG zavarivanje prikazana je na slici 1. gdje se razlikuje zavarivanje korijena s unutarnje i vanjske strane uz primjenu bakrene podloške. Vidljivo je da se ne primjenjuje klasična V priprema kao kod zavarivanja REL postupkom. Za dobru pripremu, obavezna je primjena unutarnjih centralizera. Kvaliteta zavara je dobra i ujednačena, međutim poteškoće nastaju ako dođe do problema s radnim stanicama, te tada nema napredovanja u izgradnji cjevovoda. Iz tog razloga nužno je osigurati rezervne radne stanice koje se mogu upotrijebiti ako dođe do zastoja uslijed kvara.



Slika 1. Uobičajena priprema za automatsko MAG zavarivanje cjevovoda [2]

Automatsko zavarivanje, ima u usporedbi s ručnim i poluautomatskim zavarivanjem najveći učin taljenja, najmanji gubitak osnovnog materijala i najveći operativni faktor, tj. najveća je iskoristivost uređaja i opreme. Često prekidanje luka kao i izvođenje nastavaka kod REL zavarivanja uzrokuju veći broj grešaka, gubitak dodatnog materijala i do 30% te najniži operativni faktor. Međutim, ulaganja u automatski postupak zavarivanja su daleko najveća, fleksibilnost je minimalna, a traži se i vrhunska priprema spoja. Prednosti automatskog zavarivanja dolaze do izražaja na velikim projektima, s većim promjerom cijevi i debljinom stijenke.

Ako se na temelju CE komparira opasnost od pojave hladnih pukotina za automatski MAG postupak i konvencionalno REL zavarivanje celulozno i bazično obloženim elektrodama vidljivo je da se za čelike do klase X80 javljaju znatne razlike. Naime, kod celulozno obloženih elektroda količina difundiranog vodika iznosi i više od 40ml/100g zavara dok je kod bazično obloženih elektroda to do 5ml/100 g zavara. Za MAG postupak je ta količina ispod 3 ml/100 g zavara.

Zahtjevi za predgrijavanjem su znatno veći kod REL zavarivanja celuloznom i bazičnom elektrodom, dok je za MAG postupak vidljivo da se i bez predgrijavanja postižu uvjeti pri kojima nema opasnosti od pojave hladnih pukotina. Međutim, iz predostrožnosti zbog moguće kontaminacije vodikom iz vlage i nečistoća preporuča se predgrijavanje na minimalno 50 °C.

Također, ako se zahtijevaju niske tvrdoće do 248 HV 10, pogotovo za cjevovode koji transportiraju plin s korozivski agresivnim komponentama, temperatura predgrijavanja iznosi minimalno 100 °C.

Iz ovog je vidljivo da primjena automatskog MAG zavarivanja nema samo pozitivan ekonomsko tehnološki učinak već utječe i na integritet i mehanička svojstva zavarenog spoja što je posebno važno kod visokočvrstih čelika.

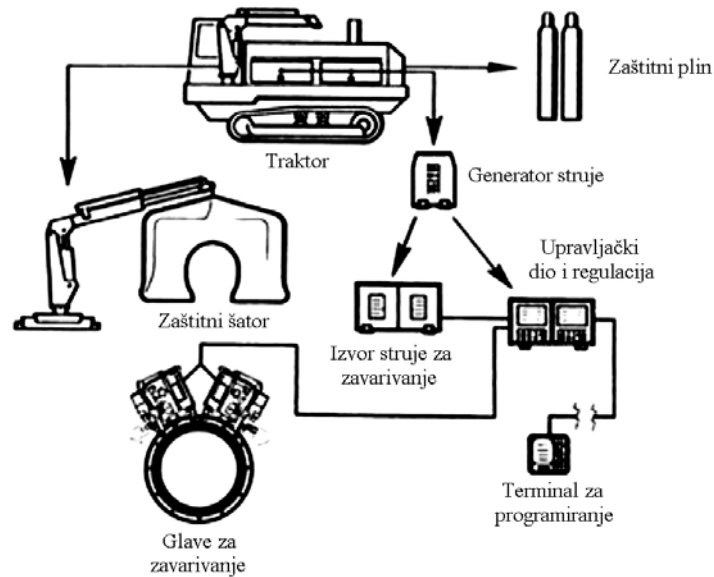


#### 4. OPREMA I LOGISTIKA ZA AUTOMATSKO ZAVARIVANJE

Oprema i izvori struje imaju izuzetno veliku važnost kod automatskog zavarivanja. Uz standardne zahtjeve, posebno je važna robustnost sustava. Slika 2. shematski prikazuje osnovne elemente sustava za automatsko zavarivanje. Ovisno o proizvođaču moguće su manje izmjene u izvedbi. Preferira se i modularna izvedba ovih sustava kako bi se postigla bolja fleksibilnost ovisno o zahtjevima. Sustav za automatsko zavarivanje magistralnih cjevovoda se sastoji od sljedećih komponenti:

- Traktor, koji služi kao transportna i manipulativna jedinica i integralni je dio sustava. Na traktoru se nalaze generatori za struju, izvori struje za zavarivanje, spremnici sa zaštitnim plinom, mješači plina i ostala oprema.
- Agregat za struju pokretan diesel motorom koji mora osigurati električnu energiju ne samo za zavarivanje već i za pomoćne uređaje.
- Izvor struje za zavarivanje koji mora osigurati tražene parametre zavarivanja. Važno je napomenuti da se od ovakvih izvora zahtjeva visoka intermitencija za radne parametre jer se radi o automatskom sustavu bez čestih prekida, tj. poželjna je 100 % intermitencija za vrijednost radnih parametara.
- Kontrolni sustav koji objedinjuje upravljanje zavarivanjem i gibanjem glave za zavarivanje.
- Terminal za programiranje pomoću kojeg se unose parametri zavarivanja.
- Glava za zavarivanje obavlja glavno gibanje po orbitali uz pomoć vodeće nazubljene letve koja služi kao vodilica. U sklopu glave nalazi se pištolj za zavarivanje, mali kalem s dodatnim materijalom, kontrolni panel za određivanje gibanja tj. brzine i oscilacije njihanja te pogonski elektromotor. Jedan sustav ima dvije glave za zavarivanje pri čemu svaka zavaruje polovinu opsega cijevi. Da bi se poboljšala produktivnost zavarivanja na istu glavu moguće je kod određenih proizvođača montirati i dva pištolja za zavarivanje. To znači da u jednom prolazu glave istovremeno zavarujemo dva prolaza što komplicira i podiže zahtjeve za izvore struje i upravljačke sustave. Međutim, neka istraživanja pokazala su da takav termodinamički ciklus s tandem glavom rezultira boljim mehaničkim svojstvima zavara [1].
- Spremnik zaštitnih plinova s mješačem iz kojeg se dobavlja zaštitni plin. Mješač je potreban jer se često mijenja omjer mješavine za korijenski ili završni prolaz čime se utječe na geometriju zavarenog spoja.
- Zavarivačka kućica ili šator koji služi kao zaštita od vremenskih uvjeta ali u koji su integrirani svi priključci kako bi se minimaliziralo vrijeme pripreme i manipulacije.
- Sustav za pozicioniranje i centriranje cijevi koji se u većini slučajeva koristi pneumatskim ili hidrauličnim pogonom i u koji može biti integrirana podloga za zavarivanje.





Slika 2. Shematski prikaz sustava i opreme za automatsko zavarivanje cjevovoda [4]



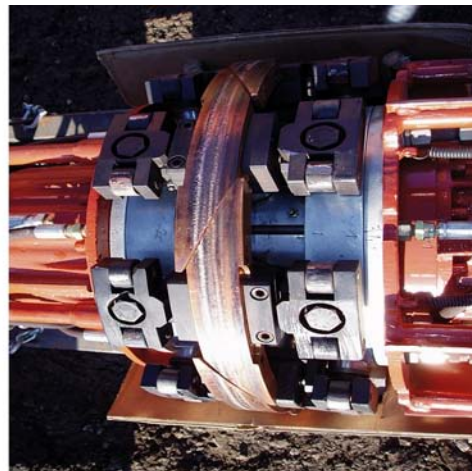
Slika 3. Glava za zavarivanje



Slika 4. Zaštitni plinovi i mješač plinova



Slika 5. Traktor s ugrađenom opremom



Slika 6. Centralizer s bakrenom podloškom



## 5. ISKUSTVA PRI IZGRADNJI MAGISTRALNOG PLINOVODA PULA-KARLOVAC

Pri izgradnji magistralnog plinovoda Pula-Karlovac na tri dionice primijenjeno je automatsko elektrolučno zavarivanje u plinskoj zaštiti. Nazivni promjer plinovoda je 500 mm, radni tlak 75 bar a osnovni materijal je API 5L X70.

Primijenjen je MAG 135 postupak i dodatni materijal žica promjera 1 mm. Položaj zavarivanja je bio PG, a zaštitni plin čisti CO<sub>2</sub> i mješavina Ar/CO<sub>2</sub> ovisno o prolazu.

Ukupno je zavareno oko 21500 zavara, od kojih je samo na nekoliko detektirana pogreška što je zahtijevalo provedbu popravaka po propisanoj proceduri. Produktivnost zavarivanja se kretala oko 45-60 zavara na dan, ovisno o težini trase.

Iako su određene dionice prolazile izuzetno zahtjevnom trasom, što je i prikazano na slici 7., dobrom organizacijom i pripremom omogućena je primjena automatskog zavarivanja i u ovim složenim uvjetima. U tablici 3. prikazana je usporedba vremena zavarivanja za automatsko i ručno zavarivanje cijevi promjera 508 mm, debljine stjenke 6,8 mm.

Tablica 3. Usporedba vremena zavarivanja za automatsko i ručno zavarivanje pri izgradnji plinovoda Pula- Karlovac

Operacija		Automatsko zavarivanje, min	Ručno zavarivanje, min
Pripajanje		-	8
Predgrijavanje (130 °C)		7	7
Zavarivanje	1-korijen	1,8	14,2
	2-vrući prolaz	2,2	12,5
	3-prolaz	4,4	16,5
	4-prolaz	-	14,0
	*5-prolaz (samo kod nagiba plinovoda tj. uspona ili spusta)	-	*14,0
Vrijeme zavarivanja		8,4	57,2 *(71,2)
Brušenje (čišćenje)	Nakon zavarivanja korijenskog prolaza	4	4
	Nakon zavarivanja vrućeg prolaza	5	5
Vrijeme za izvođenje 1 zavarenog spoja		24,4	81,2 *(95,2)

Automatsko zavarivanje se izvodilo istovremeno u paru i izvodi ga tim operatera od 1 do 3 zavarivača. Ovisno o konfiguraciji terena automatsko zavarivanje se izvodilo najčešće s dvije ili tri kabine pri čemu se za 1 sat zavarilo od 3 do 7 spojeva. Ručno zavarivanje se također provodilo u paru , tj. s 2 zavarivača. Priprema spoja za automatsko zavarivanje se provodila strojnom obradom za što je bilo potrebno približno 5 minuta, dok se za ručno zavarivanje provodila brušenjem za što je trebalo približno 30 minuta. Za automatsko zavarivanje koristio se unutarnji centralizer koji je ujedno i podloga za zavarivanje te je za centriranje bilo potrebno 3 do 5 minuta. Također, odstupanje od kružnosti nema značajan utjecaj na vrijeme potrebno za centriranje. Kod ručnog zavarivanja sa vanjskim stegama vrijeme centriranja iznosi 10 do 15 minuta pri čemu odstupanje od kružnosti ima značajan utjecaj.

Mobilnost prateće mehanizacije jako ovisi o konfiguraciji terena , tako da su se kod ekstremnih nagiba koristila kolica za transport cijevi, slika 8.





Slika 7. Detalji trase plinovoda Pula-Karlovac



Slika 8. Kolica za transport cijevi



Slika 9. Priprema za zavarivanje

## 6. ZAKLJUČAK

Konvencionalne metode zavarivanja još uvijek predstavljaju značajnu tehnologiju spajanja cjevovoda. Međutim, poluautomatski i automatski postupci dolaze sve više do izražaja, posebno u slučajevima velike duljine cjevovoda, velike debljine stjenke ili ako se radi o specijalnim zahtjevima na unos topline, geometriju zavara i sl. Automatski postupci zavarivanja podižu produktivnost i efikasnost izgradnje cjevovoda, ali i zahtijevaju izuzetnu tehničku logistiku i kvalitetnu pripremu. Velika financijska ulaganja su nužna za nabavu i instalaciju opreme za automatsko zavarivanje. S druge strane, ručno i poluautomatsko zavarivanje se lako mogu prilagoditi raznim tehnološkim zahtjevima i ne zahtijevaju velika financijska ulaganja. Međutim, utjecaj ljudskog čimbenika i potrebe za specifičnom radnom snagom ponekad mogu predstavljati značajne probleme u realizaciji projekta, tako da sve intenzivnija automatizacija zavarivanja cjevovoda predstavlja realnu alternativu.

Primjena modernih materijala i kratki rokovi izgradnje postavili su visoke zahtjeve pri izgradnji magistralnog plinovoda Pula-Karlovac. Međutim, upotrebom automatskog elektro-lučnog zavarivanja u plinskoj zaštiti zadovoljeni su svi ekonomsko tehnološki parametri uz



završetak gradnje u izuzetno kratkom roku pri čemu se pokazalo da se uz adekvatno planiranje i primjenu modernih tehnologija zavarivanja mogu postići izvanredni rezultati.

## 7. LITERATURA

- [1] Blackman, S. A., Yapp, D., Recent developments in high productivity pipeline welding, IIW document XII-1786-2004.
- [2] Dueren C., Niederhoff K., Recommended procedure for girth welding of large-diameter pipes, Mannesmann Forschungsinstitut, Duisburg-Huckingen, 1990.
- [3] Kralj S., Radošević B., Kožuh Z., Garašić I., The advantages of automatic welding in the construction of pipelines, *Welding in the World*, 2007.
- [4] Službena web stranica tvrtke Pipe Welding Technology, [www.pwtspa.com](http://www.pwtspa.com), 2007.
- [5] Kralj S., Radošević B., Garašić I., Mogućnosti automatizacije pri zavarivanju cjevovoda, Zbornik radova savjetovanja Mehanizacija, automatizacija i robotizacija u zavarivanju i srodnim postupcima, pp 245-252, Zadar, 2005.
- [6] Službena web stranica tvrtke Vietz GmbH, [www.vietz.de](http://www.vietz.de), 2007.
- [7] Kralj S., Radošević B., Garašić I., Zavarivanje cjevovoda od čelika API 5L X70, Zbornik radova 3. međunarodnog znanstveno-stručnog skupa o naftnom gospodarstvu, Zadar, 2005.
- [8] Kitano, K., Shiraishi, H., Kasatani, T., "Development of Highly Efficient and Unmanned Welding System for Pipeline System", *Automation Technology of Arc Welding*, IIW Doc.XII-1471-96.
- [9] Slike iz arhiva FSB, 2006.