

# Monitoring parametara elektrofuzijskog zavarivanja PE-HD cijevi

---

**Samardžić, Ivan; Raos, Pero; Klarić, Štefanija; Blažević, Marko**

*Source / Izvornik:* **Zbornik radova 4. Skup o prirodnom plinu Osijek 2006., 2006**

**Conference paper / Rad u zborniku**

*Publication status / Verzija rada:* **Accepted version / Završna verzija rukopisa prihvaćena za objavljivanje (postprint)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:262:400310>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-26**



*Repository / Repozitorij:*

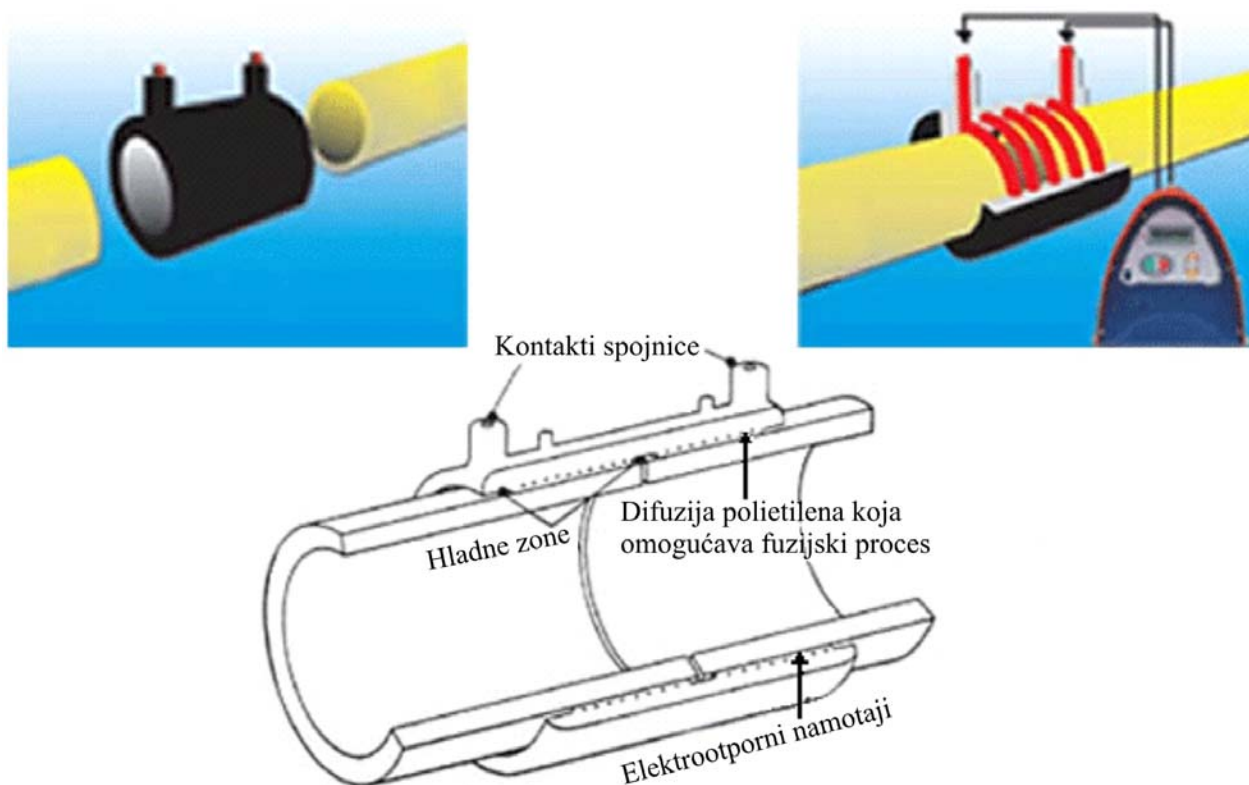
[repository.unisb.hr](https://repository.unisb.hr) - The digital repository is a digital collection of works by the University of Slavenski Brod.

# MONITORING PARAMETARA ELEKTROFUZIJSKOG ZAVARIVANJA PE-HD CIJEVI

Prof.dr.sc. Ivan Samardžić  
Prof.dr.sc. Pero Raos  
Mr.sc. Štefanija Klarić  
Marko Blažević, dipl.ing.

## 1. Općenito o elektrofuzijskom zavarivanju PE-HD

Elektrofuzijsko zavarivanje je postupak zavarivanja kod kojega se dva kraja PE spajaju pomoću standardnog spojnog elementa, uz djelovanje toplinske energije koju daje izvor struje za zavarivanje (slika1). Izvor struje priključuje se na električnu struju gradske mreže ili na agregat (u slučaju kada nije dostupna električna struja iz gradske mreže). U spojnom elementu nalaze se zavoji elektrootporne žice kroz koju protječe električna struja u određenom vremenu i koja se tijekom procesa zavarivanja zagrijava i daje toplinsku energiju potrebnu za elektrofuzijsko zavarivanje. Proces zavarivanja je potpuno automatiziran i vođen upravljačkom jedinicom u sklopu izvora struje za zavarivanje. Parametri zavarivanja su unaprijed programirani i odabiru se ovisno o karakteristikama spojnog elementa. U slučaju bilo kakvih odstupanja u pogledu provedbe parametara zavarivanja tijekom zavarivanja (npr. oscilacija ulaznih vrijednosti struje), proces zavarivanja se prekida i uređaj prijavljuje odgovarajuću pogrešku.



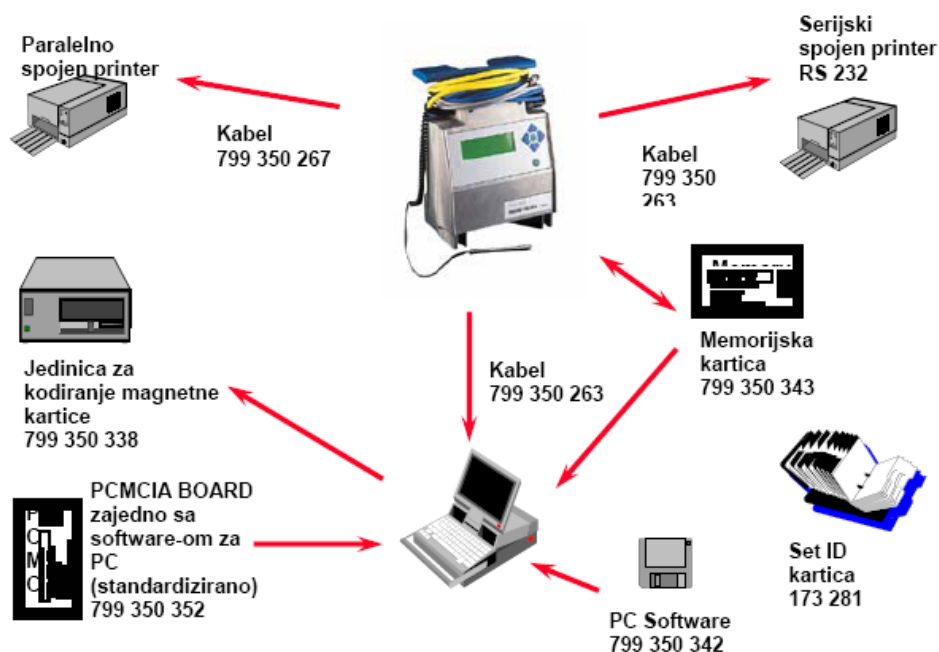
Slika 1. Shematski prikaz elektrofuzijskog zavarivanja PE cijevi

Nakon odgovarajuće pripreme PE cijevi za elektrofuzijsko zavarivanje (o čemu se neće govoriti u ovome radu, a što je detaljno opisano u [1]), pristupa se proceduri zavarivanja koja se sastoji od sljedećih faza :

- Priključivanje stroja za zavarivanje na odgovarajući izvor struje
- Spajanje kabela na spojni element
- Uključivanje stroja za zavarivanje
- Očitavanje podataka o spojnom elementu: svaki elektro fuzijski spojni element je opremljen odgovarajućim nosačem podataka za njegov elektro fuzijski ciklus zavarivanja, a podaci o njemu se prenose s tog nosača u kontrolnu jedinicu pomoću čitača (bar) koda
- Uspoređivanje učitanih vrijednosti parametara procesa zavarivanja za konkretan spojni element sa vrijednostima pohranjenim u upravljačkoj jedinici izvora struje za zavarivanje (ako se podaci podudaraju, kontrolna jedinica dopušta početak zavarivanja)
- Pritisak na dugme start i početak procesa zavarivanja
- Nakon procesa zavarivanja uređaj za zavarivanje javlja da je proces uspješno zavaren ili da je došlo do greške prilikom zavarivanja. da je zavareno mjesto uredi).

U današnje vrijeme najnovija generacija uređaja za zavarivanje (što se tiče kontrole i automatiziranosti postupka) su došle do vrhunca. Podaci pohranjeni u kontrolnoj jedinici se jednostavno ispisuju priključivanjem na pisar ili prenose na računalo, slika 2. Ispis podataka može biti pojedinačni ili grupni i sadržava: [2,3]

- redni broj zavara,
- broj uređaja za zavarivanje,
- datum i vrijeme zavarivanja,
- tip, dimenziju, serijski broj i oznaku proizvođača spojnog elementa,
- izmjereni otpor i napon tijekom zavarivanja,
- temperaturu okoline u trenutku zavarivanja,
- vrijeme zavarivanja,
- rezultat zavarivanja i oznaku moguće pogreške,
- datum zadnjeg servisa uređaja za zavarivanje i dr.



Slika 2. Mogući ispis podataka kod elektrofuzijskog zavarivanja [1]

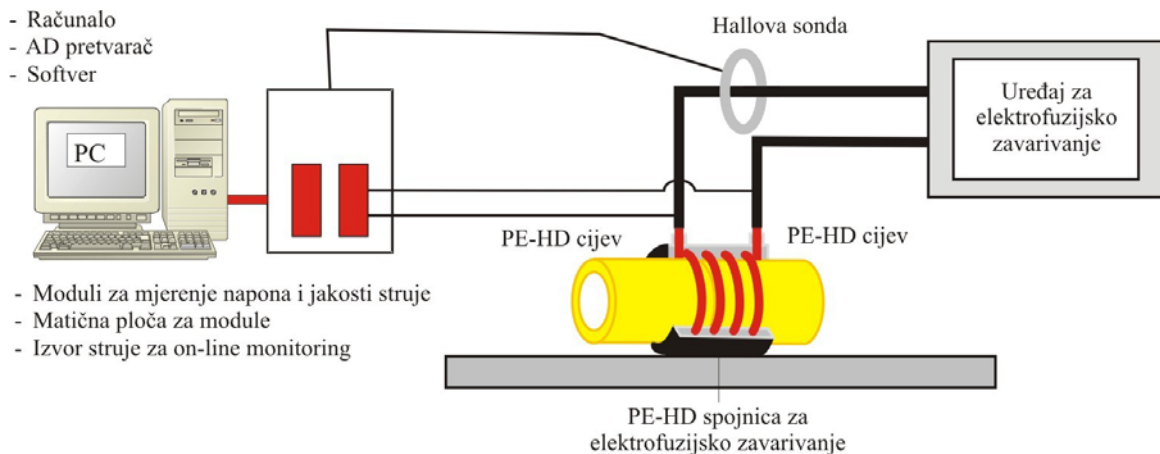
## 2. Utjecajne varijable tijekom procesa elektrofuzijskog zavarivanja PE-HD

Nakon kvalitetno pripremljenih PE cijevi i spojnog elementa, slijedi proces elektrofuzijskog zavarivanja, pri čemu su najznačajniji parametri procesa:

- napon,  $U$  (V),
- jakost struje  $I$  (A) i
- trajanje protoka struje  $t$  (s)
- temperatura okoline  $T$ , °C
- električni otpor zavojnice  $R$ ,  $\Omega$

## 3. Eksperimentalno zavarivanje u svrhu monitoringa glavnih parametara zavarivanja

U sklopu eksperimenta je predviđeno elektrofuzijsko zavarivanje PE-HD cijevi, uz praćenje i registriranje promjena napona i jakosti struje tijekom trajanja elektro fuzijskog zavarivanja. Za monitoring parametara zavarivanja korišten je vlastiti «On-line monitoring sustav» koji pruža različite dodatne mogućnosti naknadne statističke obrade parametara zavarivanja. Na slici 3 je shematski prikazan princip mjerenja promjene vrijednosti napona i jakosti struje tijekom trajanja elektro fuzijskog zavarivanja PE-HD. Ispitivanje se vršilo na elektrospojnici promjera 63 mm, proizvođača GEORG FISHER .



Slika 3. Shematski prikaz primjene «On – line monitoring sustava» za registriranje promjene glavnih parametara elektro fuzijskog zavarivanja tijekom trajanja zavarivanja.

«On - line monitoring» sustav omogućuje precizno mjerenje, praćenje i registraciju napona  $U$ (V), jakosti struje zavarivanja  $I$ (A) tijekom zavarivanja, te „off-line“ analizu različitih izvedenih veličina kao što su:

- Snaga,  $P = U \cdot I$ , (W)
- aritmetička vrijednost napona,

$$\bar{U} = \frac{1}{t} \int_{t_1}^{t_2} U(t) dt$$

- aritmetička vrijednost jakosti struje,

$$\bar{I} = \frac{1}{t} \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt$$

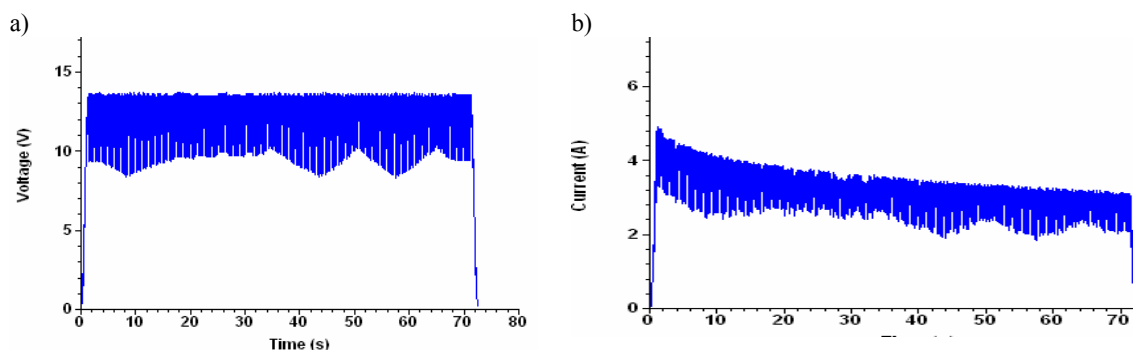
- unešena toplinska energija,  $E = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$ , (J)

Frekvencija uzimanja uzoraka napona i jakosti struje tijekom trajanja elektrofuzijskog procesa zavarivanja je bila 10 kHz.

### 3.1. Mjerenjem dobiveni parametri zavarivanja

On-line monitoring sustav koji je razvijen pri matičnoj instituciji ima mogućnost registriranja parametara istosmjerne struje. Budući se ovdje pokazalo da se radi o promjenljivoj struji, moglo se registrirati vrijednosti struje i napona samo veće od  $= 0$ . No, zamjenom polova senzora za mjerenja napona i jakosti struje, mogla se «uhvatiti» i donja strana signala koja je bila simetrična gornjoj strani. Dakle, analizirati se može samo jedna strana, a za točno određivanje vrijednosti napona i jakosti struje potrebno je te vrijednosti pomnožiti sa faktorom 2.

Distribucija aritmetičkih vrijednosti mjerenja napona (slika 4a) i jakosti struje (slika 4b) tijekom trajanja elektrofuzijskog procesa zavarivanja (veličina uzorka  $n = 375$  mjerenja) pokazuje da je elektrotopnom zavojnicom spojnog elementa prolazila promjenjiva struja u trajanju od 72 s. Na slikama je prikazana samo gornja strana signala ( $U, I > 0$ ).



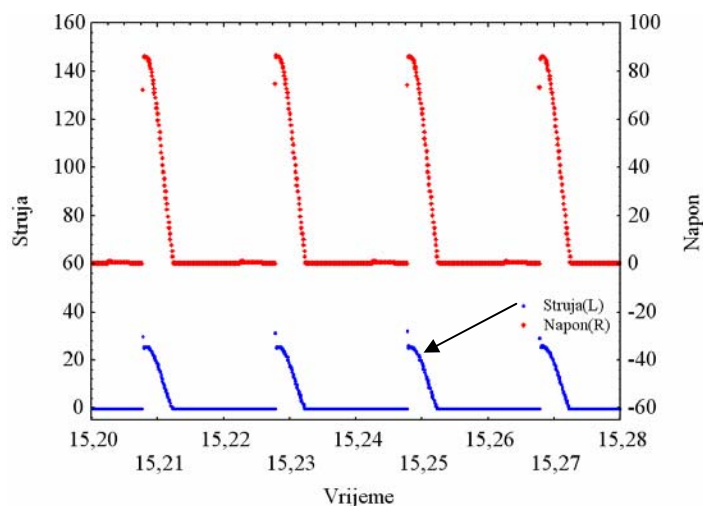
Slika 4a - distribucija srednjih vrijednosti napona zavarivanja tijekom trajanja zavarivanja.

Slika 4b - distribucija srednjih jakosti struje tijekom trajanja zavarivanja. (Na slikama je prikazana samo gornja strana signala;  $U, I > 0$ ). Uzorci za računanje srednje vrijednosti bili su veličine  $n = 375$ .

Distribucija stvarnih vrijednosti napona i jakosti struje tijekom zavarivanja prikazana je za proizvoljan vremenski interval (od 15,20 do 15,28 s) na slici 5.

Na dobivenim dijagramima vidljivi su glavni parametri :

- točno vrijeme zavarivanja ; 72 s (trajanje zavarivanja)
- srednja vrijednost jakosti struje zavarivanja ;  $5,4 \text{ A} \cdot 2 = 10,8 \text{ A}$
- srednja vrijednost napona zavarivanja ;  $24 \text{ V} \cdot 2 = 48 \text{ V}$



Slika 5. Distribucija pojedinačnih vrijednosti napona i jakosti struje tijekom trajanja zavarivanja za proizvoljan vremenski interval. Na slikama je prikazana samo gornja strana signala ( $U, I > 0$ ).

### 3.2. Makro i mikro analiza detalja elektrofuzijskog zavarenog spoja

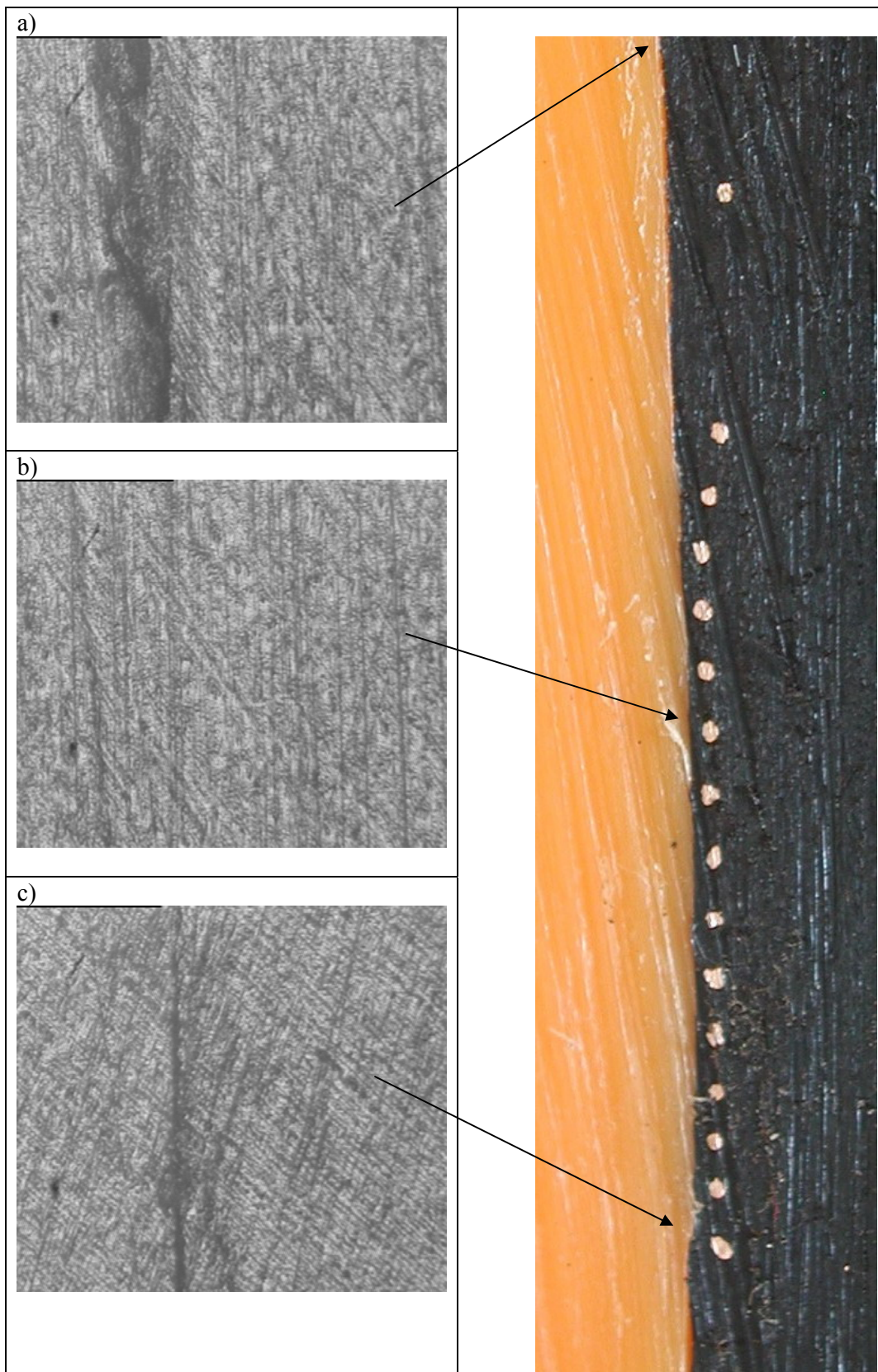
Nakon eksperimentalnog zavarivanja i registriranja parametara zavarivanja, pristupilo se rezanju uzorka za makro i mikro analizu detalja zavarenog spoja. Na slici 6 se prikazuje detalj presjeka zavarenog spoja u smjeru uzdužne osi PE-HD cijevi.



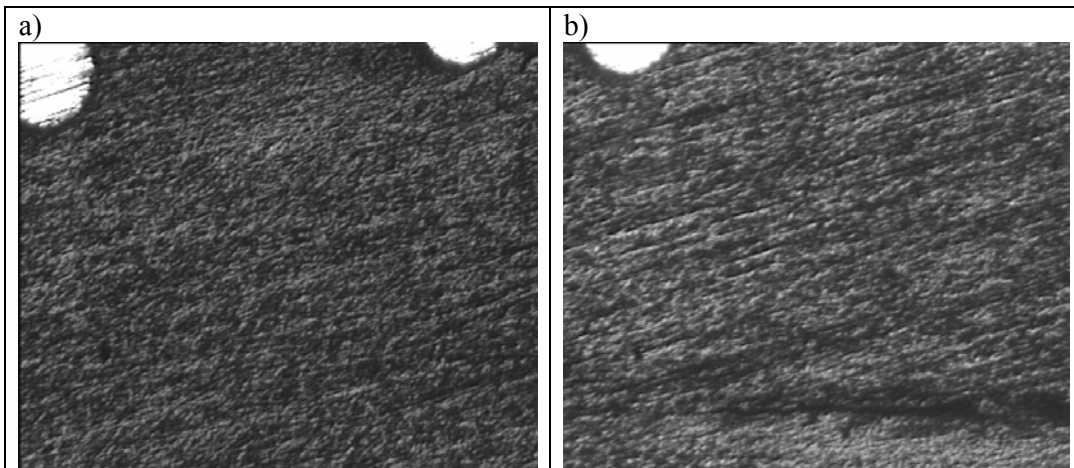
Slika 6. Detalj elektrofuzijskog zavarenog spoja u presjeku

Kako bi se jasnije uočili detalji elektrofuzijski zavarenog spoja spojnice i cijevi, pristupilo se pripremi uzorka za analizu pomoću mikroskopa. Tom su prigodom snimljeni karakteristični detalji zavarenog spoja koji su prikazani na slici 7. Na mjestu intenzivnog grijanja, tj. gdje se nalaze namotaji žice koja pripada spojnici, došlo je do izrazite homogenizacije materijala cijevi i spojnice (slika b). S druge strane, na mjestu nešto udaljenom od namotaja žice (slika a) i gdje započinje područje bez namotaja žice (slika c), vizualno se može uočiti spojno mjesto, a zbog veće udaljenosti od zagrijanih bakarnih žica temperatura je tu bila nešto niža u odnosu na temperaturu u području b.

Na slici 8 prikazan je detalj presjeka grijače bakarne žice uz povećanje od 125 x, na mjestu gdje je došlo do potpune homogenizacije polimernih materijala (slika a) i na mjestu kada započinje zona vidljive «linije» spajanja (slika b).



Slika 7. Detalji zavarenog spoja (slike a, b i c) uz povećan prikaz u odnosu na naravnu veličinu 100 x.



Slika 8. Detalj zavarenog spoja sa jasno vidljivim grijačima na mjestu gdje je došlo do potpune homogenizacije polimernih materijala (a) i na mjestu kada započinje zona vidljive «linije» spajanja (b).

Elektrofuzijski zavarene cijevi trebaju u predviđenim uvjetima i vijeku eksploatacije ispuniti predviđene zahtjeve, a za lakše razumjevanje problematike koja se može pojaviti u eksploataciji korisno je pretražiti svu dostupnu stručnu literaturu. Neka od lako raspoložive je navedena u popisu literature ovoga rada [4,5].

#### 4. Zaključak

Postupak elektrofuzijskog zavarivanja PE cijevi uz primjenu spojnih elemenata je tehnološki (ekonomičan, pouzdan, ...) postupak spajanja koji se odvija automatski uz primjenu suvremene opreme za zavarivanja. Parametri zavarivanja su unaprijed definirani u pohranjeni u memoriji uređaja za zavarivanje. U ovom se radu željelo registrirati glavne parametre zavarivanja (napon, jakost struje i trajanje prolaska struje kroz elektrootpornu zavojnicu) kroz primjer eksperimentalnog zavarivanja PE-HD cijevi  $\varnothing$  63 mm, uz korištenje odgovarajućeg spojnog elementa. Pored toga su napravljene i fotografije makro presjeka zavarenog spoja, te povećani detalji pojedinih područja zavarenog spoja (povećanje 100 %).

#### Literatura

- [1] Fističić, M. Elektrofuzijsko zavarivanje. III stručni skup plinara, Osijek 2005.
- [2] Abičić, Darko. Elektrofuzijsko zavarivanje PE-HD cijevi. Diplomski rad na Sveučilišnom dodiplomskom studiju Strojarskog fakulteta u Slav. Brodu, 2005.
- [3] Katalog aparata GEORG FISCHER, zastupnika u Hrvatskoj – PTMG, Zagreb
- [4] Šercer, Mladen; Raos, Pero; Tonković, Zlatko. Svojstva PE cijevi za plinovode // 3. Seminar o prirodnom plinu / Fadljević, Zdravko ; Raos, Pero (ur.). Osijek : Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2005.
- [5] Šercer, Mladen; Raos, Pero; Tonković, Zlatko. Vijek trajanja polietilenskih cjevovoda prirodnog plina // Seminar o prirodnom plinu Osijek 2004. Osijek, 2004.