

ISPITIVANJE PROPUSNOSTI ZAVARENIH SPOJEVA NA POLIPROPILENSKIM CIJEVIMA ZA TOPLU I HLADNU VODU

WELDED JOINTS LEAKAGE TESTING ON POLYPROPYLENE PIPES FOR HOT AND COLD WATER

Prof. dr.sc Pero RAOS, mr.sc. Mirjana LUCIĆ, Petar LEŠINA, dipl.ing.str.

Sažetak

Klasičan način postavljanja vodovodnih instalacija sa čeličnim cijevima sve se rjeđe provodi, a umjesto čeličnih sve se više primjenjuju polipropilenske cijevi. Taj trend zamjene je u sve većem porastu; na što značajan utjecaj ima i porast stanogradnje u posljednjem desetljeću u Republici Hrvatskoj. Pritom se kao temeljni zahtjev kojega instalacije trebaju ispunjavati postavlja nepropusnost, posebice na mjestima spajanja elemenata kao najslabijim mjestima u konstrukciji. Ovo je posebno značajno ako se uzme u obzir da se montaža ovakvih instalacija izvodi najčešće na gradilištima gdje su otežani radni uvjeti. Pritom se na različite načine može nepovoljno utjecati na instalacije, posebice na svojstvo nepropusnosti. Nepovoljne okolnosti koje imaju utjecaja na nepropusnost mogu biti: prljav i vlažan materijal, neispravan uređaj za zavarivanje, kratko ili predugo trajanje zagrijavanja spojnih elemenata, prekid dovoda električne energije tijekom postupka zavarivanja i drugo. Stoga će se u radu ispitati utjecaj temperature i vremena zagrijavanja vrućih elemenata na propusnost zavarenih spojeva na polipropilenskim cijevima za toplu i hladnu vodu.

Ključne riječi: propusnost, polipropilenske cijevi, zavarivanje

Summary

Traditional procedure of water installations setting with steel pipes is more and more uncommonly method. Instead of steel pipes there are more over using polypropylene pipes. That trend of replacement is more over growing, where the important influence has increasing of building construction in last decade in Croatia. In so doing there is a basic requirement which the installations should fulfill. It is a prevention of leakage, especially on joint placements as the weakness position in construction. This is of special importance if it is taken into account that the installations setting is performed the more often on building site where hard working conditions are. At the same time it might affect on installations on different ways, especially on prevention of leakage property. Unfavorable circumstances which have an influence on prevention of leakage might be: dirty and wet material, incorrect welding device, short or too long time of heating elements for bonding, breaking of electric power supply during the welding procedure etc. Hence it will be analyzed the influence of welding elements temperature and heating time on welded joints leakage on polypropylene pipes for hot and cold water.

Keywords: leakage, polypropylene pipes, welding

1 Introduction

Polimerni proizvodi značajno i sve više sudjeluju u ukupnoj industrijskoj proizvodnji. Postoji velik broj različitih vrsta i tipova polimernih materijala, a sve se veći broj upotrebljava u strojarstvu i tehnici općenito. Suvremene je proizvode nemoguće zamisliti bez polimernih materijala, a razvoj novih proizvoda, te postavljanje novih zahtjeva na već postojeće ima za posljedicu porast potrošnje polimernih materijala, razvoj novih preradbenih postupaka, te unapređenje postojećih, kao i porast proizvodnje opreme za preradu polimera.

Prednost u primjeni ove skupine materijala jesu njegova specifična svojstva. Kao upotrebljive polimerne tvorevine, mogu biti krute ili savitljive, krhke ili žilave, s organskim i anorganskim dodacima, niske gustoće, korozijske i kemijske postojanosti, dobrih kliznih svojstava i dr. Prema posebnim zahtjevima mogu se modificirati i proizvoditi u praktično neograničenom broju boja i nijansi. Radi navedenih svojstava zamjenjuju metale, posebice Al, Cu i Mg legure i korozijski postojane čelike.

U cilju ispunjavanja sve većih zahtjeva koji se postavljaju pred proizvođače vodovodnih cijevi polimerni materijal polipropilen također prati poboljšanja i dorade. To je naročito izraženo u zahtjevima za poboljšanje svojstava pri povišenim temperaturama, postojanosti utjecaju agresivnih medija, niske temperature, dinamička naprezanja i zavarljivost.

Polipropilen je dodatni proizvod koji se dobiva u procesu prerade sirove nafte, a najčešće se prerađuje postupkom ekstruzijskog lijevanja. Pored polietilena ubraja se u skupinu poliolefina. Polipropilen je materijal kristalne strukture, srednje je gustoće između polietilena niske gustoće (en. *Low Density Polyethylene* PE-LD) i polietilena visoke gustoće (en. *High Density Polyethylene* – PE-HD). S druge strane, polipropilen ima uporabno područje pri višim temperaturama i višu rasteznu čvrstoću u odnosu na polietilen. Koristi se kao važan i nezamjenjiv materijal u svakodnevnom životu zbog svojih brojnih prednosti: lagan je, postojan je na vibracije i lom, sa talištem pri 160°C. Karakteriziraju ga dobra dielektrična svojstva, postojanost utjecaju većine lužina i kiselina, organskih otapala, dok je slabije postojan na klorna otapala i UV zračenje, neotrovan je, lako se prerađuje itd.

2 POSTAVLJANJE PROBLEMA

2 Defining of the problem

U novije vrijeme za izradu cijevnih instalacija sve su više u primjeni polimerni materijali. Temeljni razlog prihvaćanja i primjene polipropilena kao materijala za izradu cijevi i cijevnih spojnica za izradu instalacija tople i hladne vode je nepropusnost zavarenih spojeva. Ovo svojstvo dobiva na značenju ukoliko se razmotri mjesto ugradnje, što su vrlo često zidovi, ili se instalacije provode

ispod žbuke ili u zemlju. U tom je slučaju detekcija i lociranje eventualnog propuštanja otežana, posebice ukoliko se radi o manjim propuštanjima.

Propuštanja cijevnih spojeva se, međutim, pri određenim okolnostima ipak događaju. Mogući uzroci propuštanja zavarenih polipropilenskih spojeva su: neispravan uređaj za zavarivanje, materijal (oštećen, prljav, zamašćen, star i sl.), te eventualni propusti koje načini čovjek (operator) prilikom postupka zavarivanja cijevi. Stoga je važno znati kakav će utjecaj na propusnost imati svaki od tih pojedinih uzroka. Zbog toga su provedena ispitivanja utjecaja stanja površine materijala (zamašćena, zaprljana) i propusta operatera na propusnost zavarenih spojeva, kao faktora koji imaju najveći utjecaj na propusnost.

3 CIJEVNE VODOVODNE INSTALACIJE

3 *Water pipeline installation system*

3.1 Svojstva materijala za instalacijske sustave

3.1 *Properties of materials for installation systems*

Materijal PP-R 80 (polipropilen random kopolimer) od kojega se izrađuju elementi instalacijskog sustava je poliolefinski polimer visoke molekulne mase. PP-R 80 je postojan utjecaju raznih agresivnih medija, primjerice tvari s kojima poslije montaže najčešće može doći u kontakt (vapno i cement). Materijal između ostalog karakterizira dobra toplinska postojanost, a fizikalna i kemijska svojstva su prihvatljiva za posebne zahtjeve pri transportu pitke vode i grijanja.

Cjevovodi od polipropilena tip PP-R 80 mogu se koristiti, ovisno o radnom tlaku, za konstantne temperature do 70°C. Trajnost takvih instalacija može se očekivati na više od 50 godina. Granične temperature od 100°C ne predstavljaju problem niti će zbog toga doći do smanjenja pouzdanosti instalacije ukoliko se pojavljuju nakratko. Međutim, pri trajnim temperaturama od 70° C do 90 °C se trajnost cjevovoda u određenoj mjeri smanjuje. Pri upotrebi cijevi za toplu vodu vrijede određeni uvjeti tlaka i temperature koje najčešće propisuje proizvođač cijevi i spojnica. Radne uvjete za cijevi i spojeve na cijevima obzirom na tlak i temperaturu treba uskladiti prema podacima prikazanim u tablici 1. Ove vrijednosti se odnose na instalacije za pitku vodu uz procijenjeni vijek trajanja od 50 godina.

Tablica 1. Radni uvjeti za cijevi i spojeve na cijevima od PP-R 80 [1]

Table 1. Working conditions for pipes and fittings made of PP-R 80 [1]

Voda obzirom na temperaturu	Pogonski tlak p , bar	Temperatura v , °C	Pogonski sati godišnje, h/god
Hladna	0 do 10 promjenjivo	< 25	8760

Topla	0 do 10 promjenjivo	< 60 < 85	8710 50
-------	------------------------	--------------	------------

Zbog svojih brojnih prednosti i svojstava pogodnih za cijevne instalacije, cijevi i cijevne spojnice od materijala PP-R 80 imaju velike mogućnosti primjene i to za:

- a) Cjevovode pitke vode: za instalacije hladne i tople vode u stambenim zgradama (slika 1), bolnicama, hotelima, uredskim zgradama, školama, brodogradnji itd; kućne priključne stanice; priključke bojlera; razdjelnike vode (slika 2); okomite vodove; razvode vode po katovima; spojeve armature.
- b) Cjevovode kućnih grijanja: priključak na toplovođe, razdjelnici grijanja (slika 3), priključni vodovi, razdjelnici vode po katovima.
- c) Priključne cjevovode uređaja za iskorištavanje kišnice.
- d) Cjevovode za pogon pneumatskih uređaja.
- e) Cjevovode bazenske tehnike.
- f) Cjevovode u poljoprivredi i vrtlarstvu.
- g) Tehnološke cjevovode za transport agresivnih medija (kiselina, lužina i sl.),
- h) Popravlak i sanacija starih instalacija.



Slika 1. Cjevovod pitke vode izrađen od PP-R 80 [1]

Figure 1. Pipeline of potable water made of PP-R 80



Slika 2. Razdjelnik sanitarne vode od PP-R 80 [1]

Figure 2. Distributor of sanitary water made of PP-R 80



Slika 3. Razdjelnik grijanja izrađen od PP-R 80 [1]

Figure 3. Heating distributor made of PP-R 80 [1]

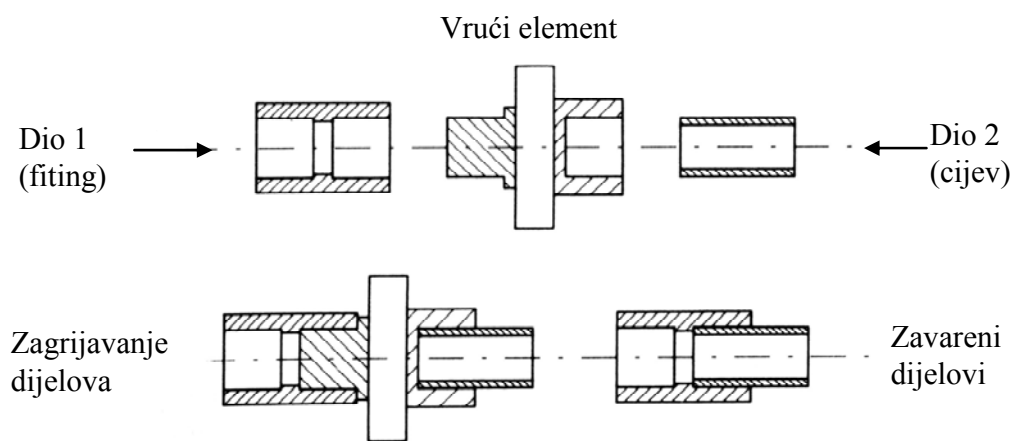
3.2 Postupak zavarivanja polipropilenskih vodovodnih cijevi i cijevnih spojnika

3.2 *Welding process for polypropylene water distribution pipes and fittings*

Zavarivanje vrućim elementima je postupak spajanja kojim se površine zavarivanja zagriju s pomoću vrućeg elementa, te se pod tlakom međusobno zavare. Zavarivanje polipropilenskih cijevi vrućim elementima je najčešći način zavarivanja vodovodnih cijevi. Razlog tome je jednostavnost postupka, funkcionalnost, laka primjena na terenu bez značajnije pripreme materijala i prilagodljivost bez osiguravanja posebnih uvjeta za rad. Postupak je i gospodarski opravdan posebice iz razloga što za zavarivanje nije potreban dodatni materijal [2].

Zavarivanje vrućim elementima se, kako je već u uvodu rečeno, uz ultrazvučno i vibracijsko zavarivanje ubraja u najprimjenjivije postupke zavarivanja cjevovodnih dijelova od polimernih materijala. Za razliku od ultrazvučnog i vibracijskog, zavarivanjem vrućim elementima se može spojiti neograničen broj raznolikih geometrijskih oblika i veličina proizvoda. Tim postupkom se mogu zavarivati mnogi plastomerni materijali. Postupak omogućuje neovisno podešavanje temperatura i vremena, tako da se, ukoliko je to fizikalno moguće, mogu zavarivati i različite vrste polimera. Zbog pojedinačnog podešavanja parametara zagrijavanja proces zavarivanja se može prilagoditi različitim svojstvima materijala. Tim je postupkom moguće paralelno zavarivanje više komada, a širokoj primjeni zavarivanja vrućim elementima ide u prilog visoki stupanj automatizacije i fleksibilnost.

Zavarivanje vrućim elementima je fazni postupak (slika 4) jer se postupci zagrijavanja i spajanja odvijaju vremenski odvojeno jedno od drugoga. Postupak zavarivanja započinje kontaktom spojnih površina na vrućem elementu. Postupak ima tri faze: zagrijavanje, postavljanje i spajanje.



Slika 4. Shematski prikaz zavarivanja vrućim elementima [3]

Figure 4. Schematic overview of hot element welding [3]

Izbor parametara zavarivanja ovisi s jedne strane o svojstvima materijala koje treba zavariti, primjerice temperatura taljenja, plastičnost, čvrstoća i krutost dijelova, a s druge strane o geometriji površina spajanja i toleranciji dijelova u području zone spajanja. Kvalitetu zavarenog spoja, pored temperature vrućeg elementa, određuje i izvođenje procesa (zavarena površina/vrijeme). Kod materijala poznatih svojstava tijekom postupka, tj. izvođenje procesa zavarivanja, ovisan je o temperaturi i debljini stijenke.

4 EKSPERIMENTALNA ANALIZA PROPUSNOSTI ZAVARENIH SPOJEVA

4 *Experimental analysis of welded joints leakage*

Analiza propusnosti zavarenih spojeva na temelju odabranih parametara (temperature i vremena zagrijavanja spojnih dijelova) kao najutjecajnijih faktora na propusnost [2], provedena je na elementima koji se koriste za kućne vodovodne instalacije. Slika 5 prikazuje pripremljeni materijal za zavarivanje, uređaj za zavarivanje vrućim elementima (polifuzor), digitalni termometar sa kontaktnim osjetilom temperature i škare za rezanje polimernih cijevi.



Slika 5. Pripremljeni spojni elementi i uređaji za zavarivanje [2]

Figure 5. Elements and welding devices prepared for welding [2]

Postupak zavarivanja je proveden polifuzorom proizvođača *Vargon tipa R 63 TF* namijenjenim za zavarivanje PP, PP-R, PE, i PVDF (en. *Polyvinyliden fluorid*) materijala. Pokus je proveden pri tri temperature zagrijavanja spojnih elemenata: 200 °C, 260 °C i 320 °C, te dva vremena zagrijavanja: 8 sekundi i 5 sekundi. Provedeno je tri ponavljanja svakog pojedinog stanja pokusa što čini 18 stanja pokusa. Dodatno je proveden pokus zavarivanja epruvete zamašćene uljem i zaprljane epruvete pri temperaturi 260 °C i vremenu zagrijavanja 8 sekundi sa jednim ponavljanjem, što je sveukupno 20 stanja pokusa .

Plan provedenih ispitivanja prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Plan ispitivanja prema odabranim faktorima

Table 2. Testing plan according to selected factors

Oznaka epruvete	Temperatura v, °C	Vrijeme zagrijavanja t, s
d1	200	8
2	200	8
3	200	8
4	200	5
5	200	5
6	200	5
7	260	8
8	260	8
9	260	8
10	260	5
11	260	5
12	260	5
13	320	8
14	320	8
15	320	8
16	320	5
17	320	5
18	320	5
19*	260	8
20**	260	8

(*zamašćena uljem; ** zaprljana)

Pokusom se želi utvrditi propusnost zavarenih spojeva pri različitim vrijednostima temperatura i vremena zagrijavanja, te eventualni utjecaj nečistoća na ispitnom mjestu. Budući je radna temperatura polifuzora konstantna, a za pokus je potrebno simulirati nižu (200°C) i višu temperaturu (320°C), potrebne temperature su ostvarena sljedeći način: niža temperatura se postiže na način da se polifuzor isključi iz strujnog kruga i pothlađuje na temperaturu vrućih elemenata 200°C, a zatim započne zavarivanje, dok se viša temperatura postiže tako da se polifuzor dogrijava na plinskom štednjaku do temperature vrućih elemenata od 320°C, a zatim započne zavarivanje. Pritom je odgovarajuća temperatura mjerena digitalnim termometrom proizvođača *Dalmacija tip*

DT 02. Termometar je opremljen kontaktnim osjetilom za brzo očitavanje temperature (slika 6). Slika 7 prikazuje pripremljene polipropilenske dijelove cijevi i spojnicu prije provođenja postupka zavarivanja.



Slika 6. Digitalni termometar proizvođača Dalmacija tip DT 02 [2]

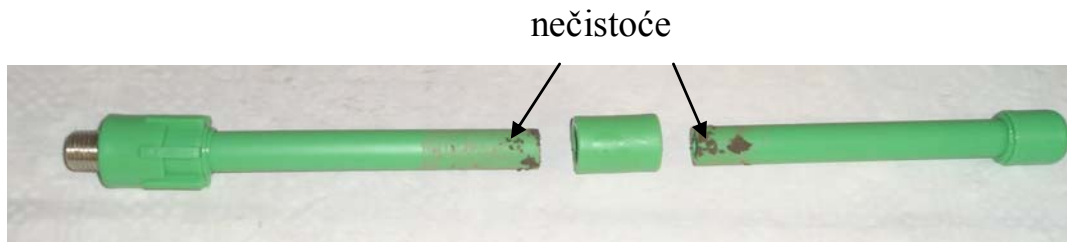
Figure 6. Digital thermometer of manufacturer Dalmacija typ DT02 [2]



Slika 7. Prikaz pripremljenih dijelova za spajanje zavarivanjem [2]

Figure 7. Overview of prepared parts for welding [2]

Slika 8 prikazuje pripremljene dijelove za zavarivanje koji su prethodno zaprljani, a slika 9 prikazuje postupak spajanja zavarivanjem vrućim elementima polipropilenskih cijevi sa spojnica. Slika 10 prikazuje pripremljena ispitna tijela za analizu propusnosti.



Slika 8. Pripremljeni dijelovi za prljavu epruvetu prije zavarivanja [2]

Figure 8 Prepared parts for dirty specimen before welding [2]



Slika 9. Zavarivanje pri temperaturi vrućeg elementa od 200 °C i vremenu zagrijavanja od 5 sekundi [2]

Figure 9. Welding at temperature of hot elements of 200°C and heating time of 5 seconds [2]



Slika 10. Ispitna tijela pripremljena za analizu propusnosti [2]

Figure 10. Specimens prepared for leakage analysis [2]

Pripremljena ispitna tijela se označuju (slika 10) i tlačno ispituju na nepropusnost s pomoću vode pod tlakom $p = 10$ bar u trajanju od 10 minuta. Tlačno ispitivanje je obavljeno ručnom tlačnom pumpom na vodu. To je standardno tlačno ispitivanje kućnih vodovodnih instalacija, a priključak na ispitno tijelo je ostvaren cijevnim navojnim spojem. Slika 11 prikazuje tlačno ispitivanje nauljene epruvete ručnom tlačnom pumpom.



Slika 11. Tlačno ispitivanje pripremljenog ispitnog tijela ručnom tlačnom pumpom [2]

Figure 11. Compression test of prepared specimen by hand compression pump

5 REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati ispitivanja propusnosti dobiveni tlačnim ispitivanjem pri različitim parametrima postupka predloženi su u tablici 3.

Tablica 3. Rezultati ispitivanja propusnosti dobiveni tlačnim ispitivanjem ispitnih tijela

Table 3. Results of leakage testing obtained with compression test of specimens

Oznaka eprovete	Temperatura v , °C	Vrijeme zagrijavanja t , s	Rezultat ispitivanja
1	200	8	-
2	200	8	-
3	200	8	-
4	200	5	-
5	200	5	-
6	200	5	X
7	260	8	-
8	260	8	-
9	260	8	-
10	260	5	-
11	260	5	-
12	260	5	-
13	320	8	-
14	320	8	-
15	320	8	-
16	320	5	-
17	320	5	-
18	320	5	-
19 *	260	8	-
20 **	260	8	-

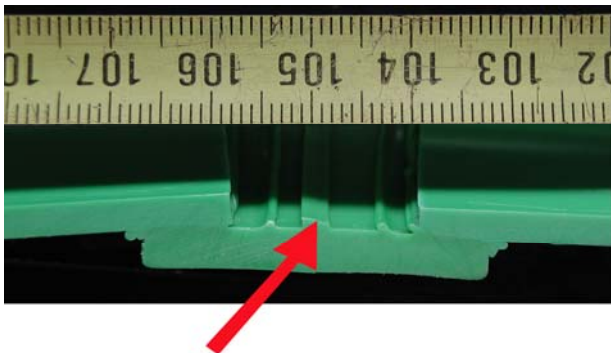
Legenda: * zamašćena uljem, **zaprlijana

X propušta

- ne propušta

Slika 12 prikazuje snimak uzdužnog presjeka ispitnog tijela kod kojeg je došlo do propuštanja spoja. To ispitno tijelo zavareno je pri temperaturi 200 °C, koja je niža od preporučene (260°C) i vremenu zagrijavanja 5 sekundi koje je kraće od preporučenog (8 sekundi). Zbog niže temperature vrućeg elementa i kraćeg vremena zagrijavanja od preporučenog spojni elementi se nisu dovoljno rastalili, što je uvjetovalo nepravilno postavljanje spojnih elemenata. To je mjesto označeno strelicom na slici, a predstavlja cjeloviti ulaz cijevi u spojnicu.

Slika 13 prikazuje snimak uzdužnog presjeka epruvete zaprljane uljem koja je zavarena pri temperaturi preporučenim parametrima. Tlačnim ispitivanjem spoj se pokazao nepropusnim, a u zoni spajanja nisu uočene nikakve promjene koje bi umanjile kvalitetu spoja.

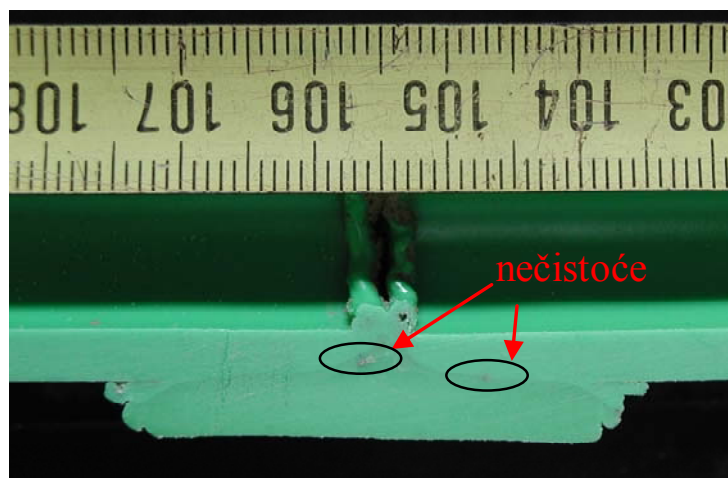


Slika 12. Snimak uzdužnog presjeka ispitnog tijela kod kojeg nije ostvaren pravilan položaj cijevi i spojnice [2]

Figure 12. Picture of longitudinal cross-section of specimen where didn't realized proper placement of pipe and fitting [2]

Slika 13. Snimak uzdužnog presjeka nauljene epruvete zavarene preporučenim parametrima [2]
Figure 13. Picture of longitudinal cross-section of oiled specimen welded on recommended parameters [2]

Slika 14 prikazuje snimak uzdužnog presjeka prljave epruvete zavarene pri preporučenim parametrima. Tlačnim ispitivanjem spoj se pokazao nepropusnim, a u zoni spajanja su uočeni tragovi nečistoća koji umanjuju kvalitetu spoja. Te su nečistoće na slici označene strelicama.



Slika 14. Snimak uzdužnog presjeka prljave epruvete zavarene pri preporučenim parametrima zavarivanja [2]

Figure 14. Picture of longitudinal cross-section of dirty specimen welded on recommended parameters [2]

Na temelju rezultata dobivenih ispitivanjem propusnosti zavarenih polipropilenskih spojeva može se zaključiti sljedeće: različite vrijednosti promatranih parametara zavarivanja (temperature i vremena) utječu izravno na propusnost spojeva. Od svih ispitivanih epruveta utvrđeno je propuštanje kod jednog zavarenog spoja. Taj je pokus proveden pri nižoj temperaturi vrućih elemenata (200 °C) i kraćem vremenu zagrijavanja (5 sekundi). U tom je slučaju temperatura bila nedostatna da rastali materijal u dovoljnoj mjeri kako bi se cijev mogla pravilno utisnuti u spojnicu, a vrijeme zagrijavanja nedostatno da se homogenizira materijal novonastalog spoja. To utječe na manju efektivnu površinu prijanjanja cijevi i spojnice što izravno utječe na propusnost vode pri tlaku od 10 bara.

Kod zamašćene i zaprljane epruvete su ostvareni nepropusni spojevi, odnosno masnoća i prljavština u razmatranim količinama nisu imale utjecaj na propusnost zavarenog spoja.

6 ZAKLJUČAK

6 Conclusion

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da zavareni spojevi izrađeni od polipropilena (PP-R 80) koji se koriste za izradu cijevnih instalacija tople i hladne vode nisu propusni ukoliko se proces zavarivanja provodi pri preporučenim parametrima. Nepropusnost je utvrđena čak i u slučaju spojeva koji su zavarivani pri kraćem vremenu zagrijavanja vrućih elemenata. Nepropusnost zavarenog spoja kod zamašćene epruvete temelji se na tome da je dio ulja pri temperaturi 260 °C izgorio, a dio je zbog konstrukcije grijaćih površina vrućih elemenata prilikom utiskivanja cijevi u spojnicu istisnut iz zone zavarivanja. Ovaj utjecaj će se detaljnije razmotriti na većem broju ispitnih tijela i sa različitim količinama sredstva za zamašćivanje, gdje se očekuju detaljniji rezultati.

Propusnost je evidentirana samo kod spojeva koji su zavarivani pri nižoj temperaturi vrućeg elementa i kraćem vremenu zagrijavanja od preporučenog.

Na temelju provedene teorijske analize i eksperimentalnih ispitivanja zavarenih polipropilenskih cijevi može se zaključiti sljedeće: temperatura vrućih elemenata ima najveći utjecaj na kvalitetu zavarenog spoja. U cilju osiguranja pouzdanih zavarenih polipropilenskih cijevi uvijek se treba poštivati preporuka proizvođača materijala.

7 LITERATURA

7 References

- [1] N.N.: Fusiotherm cjevovodni sustav, Katalog tehničkih informacija Aquatherm GmbH, Zagreb, 2000.
- [2] Lešina, Petar. Zavarivanje polipropilenskih vodovodnih cijevi vrućim elementima, Diplomski rad, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu 2006.

- [3] Potente, Helmut: Fügen von Kunststoffen Grundlagen, Verfahren, Anwendung. München
Wien; Carl Hanser Verlag, 2004, str. 109 – 259.

Adrese autora

Authors addresses

Prof. dr. sc. Pero Raos

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta u Osijeku, Trg I.B.Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska
Tel. +385-35-446-188, Fax +385-35-446-446, e-mail praos@public.srce.hr

Mr.sc. Mirjana Lucić

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta u Osijeku, Trg I.B.Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska
Tel. +385-35-446-188, Fax +385-35-446-446, e-mail mlucic@sfsb.hr

Petar Lešina, dipl.ing.str.

Vodovod Osijek d.o.o., Poljski put 1, 31000 Osijek, Tel. +385-31-330-142, Fax. +385-31-330-141, e-mail:
petar.lesina@vodovod.com