

ZAHTJEVI NA ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA NELOŽENE TLAČNE OPREME PREMA EUROPSKIM I ASME NORMAMA

EXAMINATION REQUIREMENTS FOR WELDS IN UNFIRED PRESSURE EQUIPMENT ACC. EUROPEAN AND ASME STANDARDS

Mladen BOŠNJAKOVIĆ¹⁾

Ključne riječi: ispitivanje zavara, kriteriji prihvatljivosti, koeficijent kvalitete zavara

Key words: weld examination, acceptance criteria, weld joint coefficient

Sažetak: Pri preuzimanju tlačne opreme potrebno je izvršiti nerazorna ispitivanja zavarenih spojeva kako bi se utvrdila njihova kvaliteta te uklonili eventualni nedostatci i time osigurala sigurnost u uporabi. U članku su opisani zahtjevi glede vrste i opsega nerazornih ispitivanja prema europskim normama i ASME normama. Da bi mogli ocijenili rezultate ispitivanja potrebno je poznavati i kriterije prihvatljivosti kvalitete zavarenih spojeva. Najvažniji kriteriji opisani su u članku, a također je skrenuta pažnja na značenje i važnost koeficijenta kvalitete zavarenog spoja.

Abstract: At the acceptance of pressure equipment it is necessary to perform non-destructive examination of welds in order to determine their quality and remove any defect and thus ensure the safety in use. The article describes the requirements regarding the types and amount of non-destructive examination according to European standards and ASME standards. To be able to evaluate the results of examination it is necessary to understand the acceptability criteria for the weld quality. The most important criteria are described in the article, and also draw attention to the importance of the weld joint coefficient.

¹⁾ Veleučilište u Slavonskom Brodu, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod

1. UVOD

Ideja o standardizaciji načina konstruiranja i izrade tlačne opreme datira iz 1911. godine, a prve norme objavljene su 1915. godine u SAD-u. Spajanje tlačnih dijelova zavarivanjem prvi je put odobreno u ASME normama (*pravilima*) 1935. godine. Prije toga dijelovi tlačne opreme spajali su se zakovicama. Spajanje dijelova zavarivanjem pokazalo je ekonomsku opravdanost, ali je u isto vrijeme predstavljalo i tehnički izazov glede sigurnosti u uporabi tlačne opreme izrađene zavarivanjem. Da bi se postigla sigurnost u uporabi, norme za tlačnu opremu propisale su potrebnu kvalitetu zavarenih spojeva.

Članak opisuje glavne razlike u zahtjevima na završna ispitivanja zavarenih spojeva koje propisuje HRN EN13445-5 i ASME VIII, a odnosi se na neložene tlačne posude standardne namjene. Norma EN 13445 je izdana s ciljem pojednostavljenja nabavke tlačne opreme unutar Europe te smanjenja tehničkih problema između zemalja članica Europske zajednice.

Potpisivanjem Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju Hrvatska je pristupila usklađivanju

zakonodavstva sa zakonodavstvom EU. Na osnovi Zakona o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenu sukladnosti (N.N. br. 158/03,79/07), doneseni su podzakonski akti, pravilnici za područje opreme pod tlakom kojima su implementirane europske direktive, te preuzete odgovarajuće europske norme (HRN EN). Tlačna oprema u Hrvatskoj mora zadovoljiti zahtjeve tehničkih propisa i tehničkih specifikacija (norma):

- Pravilnik o tlačnoj opremi, (N.N. 135/05 i 126/08)
- Uskladene norme (N.N. 126/08)
- Druge tehničke specifikacije i regulativu (AD 2000, ASME, ...).

Kako se danas za konstruiranje i izradu tlačne opreme najčešće koriste europske (EN) i američke (ASME) norme (*pravila*), daje se osvrt na njih. Između ovih dviju normi postoje određene razlike, ali je tendencija da se te razlike što više smanje, a što je vidljivo u izdanju ASME VIII, Div. 2 od 2007. gdje se u dijelu 7 uvodi tablica 7.2 vrlo slična tablici 6.6.2-1 u HRN EN 13445-5 koja definira opseg nerazornih ispitivanja (NDE).

2. OSNOVNE POSTAVKE

Kad govorimo o nerazornom ispitivanju zavarenih spojeva, HRN EN 13445-5 razlikuje tlačnu opremu na osnovi "ispitnih grupa" koje određuju zahtjeve za NDE ispitivanjem te u svezi s tim daje određena ograničenja. Bitni čimbenik je pri tome koeficijent kvalitete zavarenog spoja. On predstavlja odnos čvrstoće zavarenog spoja u odnosu na čvrstoću osnovnog materijala. Za idealno zavaren spoj koeficijent kvalitete zavarenog spoja iznosi 1,0.

HRN EN 13445-5, tablica 6.6.1-1 definira zahtjeve na zavarene spojeve (opseg NDE ispitivanja, koeficijent kvalitete zavarenog spoja, najveća debljina stjenke, vrsta procesa zavarivanja, radna temperatura, moguće ispitne grupe) za odabranu grupu materijala prema CR ISO 15608:2000. Izbor ispitne grupe vezan je za odabir koeficijenta kvalitete zavarenog spoja koji može biti 1,0; 0,85 ili 0,7.

Različite ispitne grupe (1, 2, 3 i 4) dozvoljavaju značajan stupanj slobode pri projektiranju, ali traže i dosta znanja od projektanta glede tehnoloških i ekonomskih specifičnosti koje uvjetuje izbor jedne ili druge varijante. Na prvi pogled nije jasno koja kombinacija koeficijent kvalitete zavarenog spoja/ NDE / materijal izrade daje najmanje ukupne troškove izrade opreme.

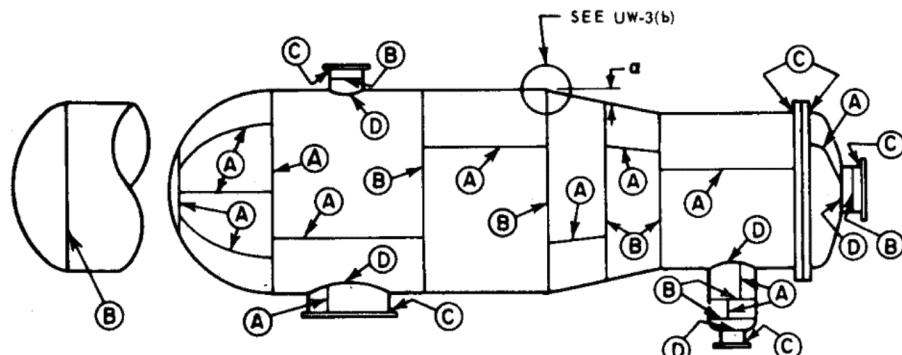
Koeficijent kvalitete zavarenog spoja u ASME VIII, Div. 1 je vezan samo uz opseg radiografskog ispitivanja. Dozvoljen je odabir koeficijenta kvalitete zavarenog spoja od 1,0;

0,85; 0,7; 0,65 i 0,6 za glavne sučeljene spojeve (ASME VIII, Tablica UW-12) i to na osnovu vrste izvedbe zavarenog spoja i kategorije zavarenog spoja prema slici 1.

Tablica 1. Ispitne grupe (izvod iz tablice 6.6.1-1, HRN EN 13445-5)

| | Ispitna grupa | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|--|---|---|---|-------------------------|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 |
| | 1a | 1b | 2a | 2b | 3a | 3b | |
| Dozvoljene grupe materijala | 1 do 10 | 1.1, 1.2, 8.1 | 8.2, 9.1, 9.2, 9.3, 10 | 1.1, 1.2, 8.1 | 8.2, 9.1, 9.2, 10 | 1.1, 1.2, 8.1 | 1..1, 8.1 |
| Opseg NDE ispitivanja glavnih zavora | 100 % | 100 % | 100 % - 10 % | 100 % - 10 % | 25 % | 10 % | 0 % |
| Koef. kval. zav. spoja | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,85 | 0,85 | 0,7 |
| Najveća debljina mat. | Bez ograničenja | Bez ograničenja | 30 mm za grupe 9.1, 9.2 16 mm za grupe 9.3, 8.2, 10 | 50 mm za grupe 1.1, 8.1 30 mm za grupu 1.2 | 30 mm za grupe 9.1, 9.2 16 mm za grupe 8.2, 10 | 50 mm za grupe 1.1, 8.1 30 mm za grupu 1.2 | 12 mm za grupe 1.1, 8.1 |
| Postupak zavarivanja | Bez ograničenja | Bez ograničenja | Potpuno strojno | | Bez ograničenja | Bez ograničenja | Bez ograničenja |

Napomena: Za informacije o svim ograničenjima vidi izvornu tablicu 6.6.1-1



Slika 1. Ilustracija smještaja zavara pojedinih kategorija [1]

Tablica 2. Najveća dozvoljena vrijednost koeficijenta kvalitete zavarenog spoja (izvod iz tablice UW-12, ASME VIII, Div. 1, Revision 2007.)

| Vrsta spoja | Opis zavarenog spoja | Ograničenje | Kategorija zavara | Opseg ispitivanja | | |
|-------------|---|--|-----------------------|-------------------|------------|--------------|
| | | | | Potpuno a) | Uzorak b) | Bez isp. c) |
| 1 | Sučeljeni spojevi koji osiguravaju istu kvalitetu zavara kao što je i osnovni materijal, a u skladu s odjeljkom UW-35 | nema | A, B, C, D | 1,00 | 0,85 | 0,7 |
| 2 | Jednostrani zavari s podložnom pločicom | a) nema osim niže navedenih b) kružni sučeljeni spojevi gdje dolazi do smaknuća rubova, vidi UW-13(c) | A, B, C, D A, B, C | 0,9 0,9 | 0,8 0,8 | 0,65 0,65 |
| ... | | ... | ... | ... | ... | ... |

Za odabrani koeficijent kvalitete zavarenog spoja vezan je opseg NDE ispitivanja. On može biti 100 % ispitivanje, djelomično ispitivanje (uzorak) ili bez ispitivanja. Pri tome vizualno ispitivanje je obavezno za sve slučajeve. U praksi, najčešće se koristi koeficijent kvalitete zavarenog spoja od 1,0 ili 0,85 jer se time postiže jeftinija izrada tlačnih komponenti.

Pravilnik o tlačnoj opremi, Dodatak 1, definira bitne zahtjeve na tlačnu opremu koji su obvezatni. Tako definira da kod zavarenih spojeva, koeficijent zavara ne smije prelaziti sljedeće vrijednosti:

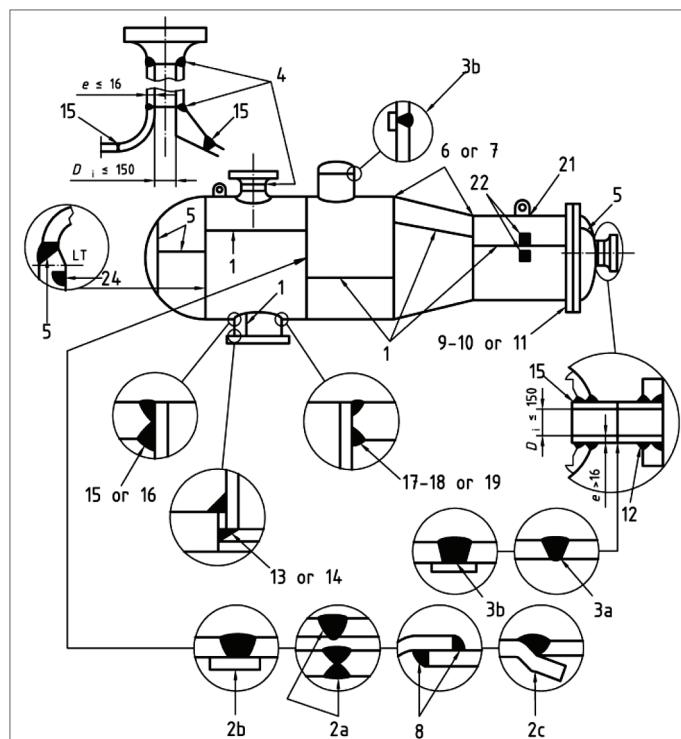
- za opremu koja je podvrgnuta razornim i nerazornim ispitivanjima, koja potvrđuju da čitava serija spojeva ne pokazuje nedostatke: 1,0
- za opremu koja je podvrgnuta nerazornim ispitivanjima na slučajnom uzorku: 0,85
- za opremu koja je podvrgnuta samo vizualnoj inspekciji kao vrsti nerazornog ispitivanja: 0,7.

Ako je potrebno, moraju se uzeti u obzir vrsta naprezanja te mehanička i tehnološka svojstva spoja.

3. OPSEG I VRSTA ISPITIVANJA

Obje norme imaju vlastite zahtjeve glede vrste i opsega ispitivanja. Ispitivanje kružnih, podužnih i zavara priključaka različito su definirani. U ASME VIII zahtjevi su definirani u tablici UW-12.

HRN EN 13445-5 definira vrstu ispitivanja na osnovu vrste materijala i debljine stjenke prema tablici 6.6.3-2, a koja je u skladu s HRN EN 12062. Predviđena je mogućnost NDE ispitivanja ultrazvukom (UT) ili radiografiranjem (RT) uz ispitivanje tekućim penetrantima (PT) ili magnetskim česticama (MT).



Slika 2. Vrsta i smještaj zavarenih spojeva [3]

HRN EN 13445-5 definira opseg ispitivanja na osnovu vrste i smještaja zavarenog spoja (vidi sliku 2) te na osnovu ispitne grupe u tablici 6.6.2-1.

ASME norme se baziraju na RT ispitivanju, ali dopuštaju i UT ispitivanje što je definirano u CODE CASE 2235-9. Ispitivanje MT ili PT u ASME VIII, Div. 1 nije zahtijevano. Međutim, ako se projektiranje vrši u skladu s ASME VIII, Div. 2, Revision 2007. (dimenzioniranje na osnovu analize naprezanja) sve vanjske i unutarnje površine moraju se ispitati MT ili PT metodom.

4. USPOREDBA KRITERIJA PRIHVATLJIVOSTI

Nepravilnosti se mogu pojaviti u zavaru. Ako su iznad kritične veličine mogu dovesti do loma tlačne komponente. Pravila za izradu i konstruiranje tlačne opreme propisuju veličinu i broj najviše dozvoljenih nepravilnosti u zavaru. Ta pravila se zovu kriteriji prihvatljivosti kvalitete zavara. Treba napomenuti da je kriterij prihvatljivosti uglavnom vezan za debljinu zavara (stjenke). U HRN EN 13445-5 kriteriji prihvatljivosti definirani su u tablici 6.6.3-1, odnosno u odgovarajućim europskim normama na koje se upućuje.

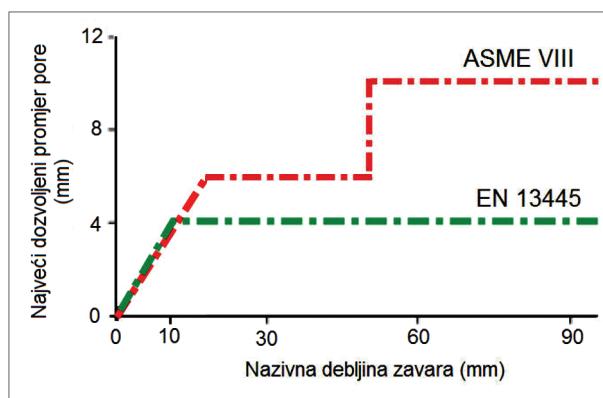
I ASME VIII i HRN EN 13445-5 se slažu da pukotine, neprovaren korijen nisu prihvatljivi ni pod kojim uvjetima.

Na slikama 3 do 10 dane su usporedbe najveće dopuštene veličine plinskog uključka, najveće dopuštene veličine krutih uključaka, najvećeg dozvoljenog zajeda, najvećeg dozvoljenog nadvišenja lica i korijena zavara.

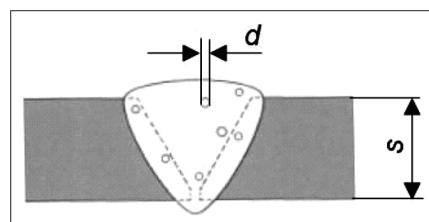
Razine kvalitete s obzirom na nepravilnosti u zavaru dane su u odgovarajućim normama (ASME, HRN EN 13445-5, HRN EN ISO 5817).

4.1 Najveći dozvoljeni promjer plinske pore

HRN EN 13445-5 se poziva na nivo kvalitete „2“ prema EN 12517 prema kojem je najveća dozvoljena veličina pojedinačne pore $d \leq 0,4 \cdot s$ za sučeljene spojeve, a najviše može iznositi 4 mm (s je debljina materijala)¹. Najveća dozvoljena veličina pojedinačne pore prema ASME VIII, definirana je tablicom 4-1 u Mandatory appendix 4. Za debljinu materijala manju od 3 mm, najveći dozvoljeni promjer je $1/3 \cdot s$. Za debljinu 10 mm najveći promjer plinske pore je 3,18 mm, za debljinu 17 mm promjer je 5,84 mm. U području debljina 19 do 50 mm, najveći promjer je 6,35 mm. Za debljine materijala iznad 50 mm najveći dozvoljeni promjer je 9,53 mm.



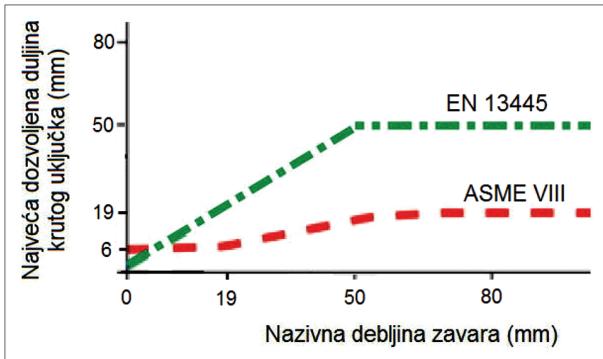
Slika 4. Plinska pora



Slika 3. Najveći dozvoljeni promjer plinske pore

¹ Prema HRN EN ISO 5817 od 2008 godine, poroznosti su puno detaljnije definirane. Najveća veličina pojedinačne pore može iznositi $0,3 \cdot s$, ali najviše 3 mm.

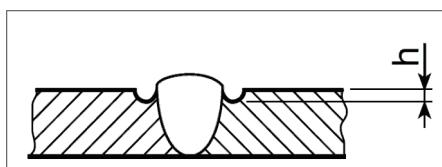
4.2 Najveća dozvoljena duljina krutog uključka u zavaru



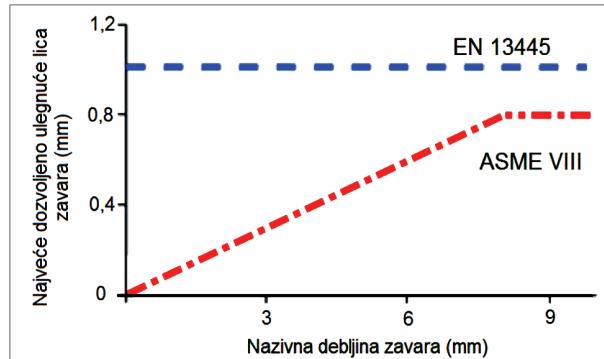
Slika 5. Najveća dozvoljena duljina krutog uključka u zavaru

4.3 Najveći dozvoljeni zajed

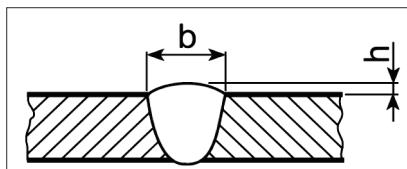
Na slici 5 prikazan je zajed (eng. undercut), a na slici 6 njegova najveća dozvoljena vrijednost. Norma HRN EN ISO 5817, klasa "C", dopušta najveću vrijednost od $h \leq 0,1 t$ za $t < 0,5$ do 3 mm, odnosno $h \leq 0,1 t$, a najviše 0,5 mm za $t > 3$ mm. Prema ASME VIII, najveća vrijednost zajeda može iznositi 10 % debljine stjenke osnovnog materijala, ali najviše 0,8 mm.



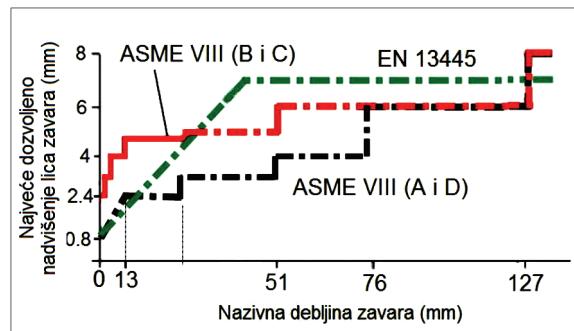
Slika 6. Zajedi



Slika 7. Najveće dozvoljeno vrijednosti zajeda



Slika 8. Nadvišenje lica zavara



Slika 9. Najveće dozvoljeno nadvišenje lica zavara

4.4 Najveće dozvoljeno nadvišenje lica zavara

Na slici 7 prikazano je nadvišenje lica zavara, a na slici 8 njegove najveće dozvoljene

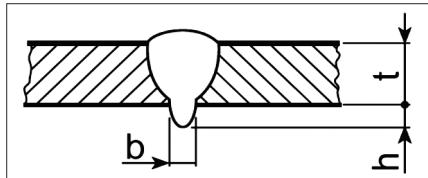
vrijednosti. ASME VIII razlikuju dvije kategorije nadvišenja; jedno za zavare kategorija B i C te drugu kategoriju za ostale zavare. Kriterij prihvatljivosti dan je u odjeljku UW-35(d) ASME VIII. Prema HRN EN ISO 5817 klasa "C", najveće dozvoljeno nadvišenje lica zavara mora biti manje od $1 \text{ mm} + 0,15 \cdot b$, gdje je b najveća širina zavara.

Tablica 3. Vrijednosti najvećeg dozvoljenog nadvišenje lica zavara

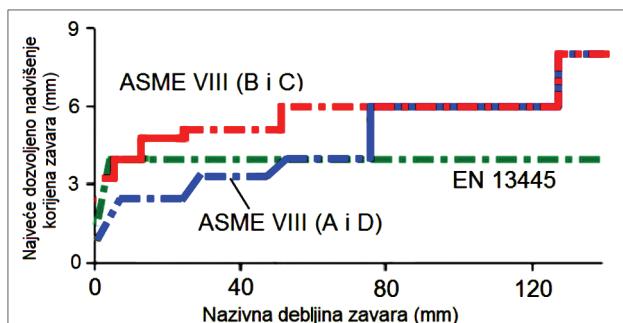
| Nazivna debљina materijala | Kategorija B i C | Ostali zavari |
|----------------------------|------------------|---------------|
| < 2.4 | 2.4 | 0.8 |
| 2.4 – 4.8 , uključeno | 3.2 | 1.6 |
| 4.8 – 13 , uključeno | 4.0 | 2.4 |
| 13 – 25 , uključeno | 4.8 | 2.4 |
| 25 – 51 , uključeno | 5 | 3.2 |
| 51 – 76 , uključeno | 6 | 4 |
| 76 – 102 , uključeno | 6 | 6 |
| 102 – 127 , uključeno | 6 | 6 |
| > 127 | 8 | 8 |

4.5 Najveće dozvoljeno nadvišenje korijena zavara

Na slici 9 prikazano je nadvišenje korijena zavara, a na slici 10 prikazane su najveće dozvoljene vrijednosti nadvišenja korijena zavara. Prema HRN EN ISO 5817 klasa "C" $h \leq 0,3 \cdot b$ za $t \leq 0,5 \text{ mm}$ do 3 mm , odnosno $h \leq 1 \text{ mm} + 0,6 \cdot b$, a najviše 4 mm za $t > 4 \text{ mm}$.



Slika 10. Nadvišenje korijena zavara



Slika 11. Najveće dozvoljeno nadvišenje korijena zavara

Što se tiče poroznosti u nizu, HRN EN 13445-5 dopušta najviše 2% projicirane površine poroznosti u odnosu na čitavu projiciranu površinu zavara. Ovaj postotak je u praksi dosta teško izmjeriti. S druge strane, ASME VIII daje usporednu kartu poroznosti kao kriterij prihvatljivosti. Treba napomenuti da ASME VIII propisuje najmanju udaljenost između dvije pore, dok ta odredba nije obuhvaćena u HRN EN 13445-5. Međutim, norma HRN EN ISO 5817 dosta detaljno opisuje poroznosti.

5. ZAKLJUČAK

Zahtjevi na završno ispitivanje zavarenih spojeva definiraju se vrlo slično u europskoj normi HRN EN 13445-5 i ASME normama. Bitni čimbenici na osnovi kojih se definira vrsta i opseg ispitivanja su koeficijent kvalitete zavarenog spoja, ispitna grupa materijala te vrsta zavarenog spoja.

Po pitanju kriterija prihvatljivosti kvalitete zavarenih spojeva postoje razlike između ova dvije norme. Glede najvećeg dozvoljenog promjera plinske pore te nadvišenja korijena zavara,

stroža je norma HRN EN 13445-5, a glede najvećeg dozvoljenog nadvišenja i zajeda te najveće dozvoljene duljine krutih uključevina strože su ASME norme.

S druge strane u HRN EN 13445-5 opseg ispitivanja zavarenih spojeva kod ispitivanja na uzorku je veći nego u ASME normama, a postoje i zahtjevi za izradom ispitnih ploča zavarivanjem što poskupljuje ispitivanje opreme konstruirane prema europskim normama.

6. LITERATURA

- [1] ASME Boiler and pressure vessel code, Section VIII., Division 1 (Revision 2007)
- [2] ASME Boiler and pressure vessel code, Section VIII., Division 2 (Revision 2007)
- [3] HRN EN 13445-5:2002, Neložene tlačne posude – 5.dio: Nadzor i ispitivanje (EN 13445-5:2002)
- [4] ASME Code Case 2235-9: Use of ultrasonic examination in lieu of radiography Section I; Section VIII, Div. 1 and 2; Section XII, (Revision 2006)
- [5] HRN EN 12517-1, Nerazorno ispitivanje zavarenih spojeva - 1. dio: Vrednovanje zavarenih spojeva čelika, nikla, titana i njihovih legura radiografijom - Razine prihvatljivosti (EN 12517-1:2006)
- [6] HRN EN ISO 5817:2008, Zavarivanje -- Zavareni spojevi nastali taljenjem u čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama (osim zavarivanja elektronskim snopom i laserom) - Razine kvalitete s obzirom na nepravilnosti (ISO 5817:2003+Cor 1:2006; EN ISO 5817:2007)
- [7] Pravilnik o tlačnoj opremi, (N.N. 135/05 i 126/08)
- [8] HRN EN 12062/A1:2003, Nerazorno ispitivanje zavara - Opća pravila za metalne materijale (EN 12062:1997/A1:2002).