

IMPACT OF AUSTENITIC STEELS' MECHANICAL PROPERTIES ON ALLOWED STRESS AND WALL THICKNESS OF PRESSURE EQUIPMENT

UTICAJ MEHANIČKIH OSOBINA AUSTENITNIH ČELIKA NA DOZVOLJENE NAPONE I DEBLJINE ZIDA OPREME POD PRITISKOM

Originalni naučni rad / Original scientific paper
UDK /UDC: 621.642.3: 637.132-135
Rad primljen / Paper received: 23.04.2018

Adresa autora / Author's address:

¹⁾ University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, email: sanjapetronic@yahoo.com

²⁾ National R&D Institute for Welding and Material Testing - ISIM Timișoara, Romania

³⁾ University of Belgrade, Innovation Centre of the Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia

Keywords

- pressure equipment
- maximum allowable stresses
- austenitic steels
- technical design requirements
- tensile strength
- yield strength

Abstract

The Pressure Equipment Directive (PED) and Regulations on Technical Requirements for Designing, Manufacturing and Conformity Assessment of Pressure Equipment bring a number of changes to the design of pressure equipment in relation to the Technical Regulations for Stable Pressure Vessels, 1983. Among the most important changes are the essential safety requirements for pressure equipment. The changes in the formula, for all materials, for calculating the allowable stresses, as well as the change in the value of the test pressure, the new Regulations use the 1.0% proof strength as the relevant value for calculating the permissible membrane stress and thickness of pressure equipment walls. In this paper, the differences in the allowable stresses, the required wall thicknesses, and the approximate savings in the material in the case of a milk reservoir, calculated according to the requirements of the Directive and the new Regulations on one hand, and the old Regulations on the other, are presented.

UVOD

Bitni zahtevi za bezbednost opreme pod pritiskom definisani su u Prilogu I, Pravilnika o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (*Sl. glasnik RS, br. 87/2011*) /1/. Ovim Pravilnikom se propisuju tehnički zahtevi koji se odnose na projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom, kod kojih je najveći dozvoljeni pritisak PS veći od 0,5 bar, /1/. Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (u daljem tekstu "novi" Pravilnik) je urađen prema Direktivi o opremi pod pritiskom *Pressure Equipment Directive* (u daljem tekstu Direktiva), /2/. Ovaj Pravilnik je zamenio Pravilnik o tehničkim normativima za stabil-

Ključne reči

- oprema pod pritiskom
- najveći dozvoljeni naponi
- austenitni čelici
- tehnički projektni zahtevi
- zatezna čvrstoća
- napon tečenja

Izvod

Direktiva o opremi pod pritiskom i Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom donose niz izmena za projektovanje opreme pod pritiskom u odnosu na Pravilnik o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom, iz 1983. godine. Među najvažnijim izmenama su i izmene bitnih zahteva kod opreme pod pritiskom. Sem promene formule, za sve materijale, za izračunavanje dozvoljenih napona, kao i izmene vrednosti ispitnog pritiska, novi Pravilnik kao merodavnu veličinu za izračunavanje dozvoljenog membranskog naprezanja i debljine zidova opreme pod pritiskom koristi konvencionalni napon tečenja pri kome je trajna plastična deformacija 1%, odnosno $R_{p1.0}$. U ovom radu su prikazane razlike u dozvoljenim naponima, potrebnim debljinama zida i okvirna ušteda u materijalu na primeru rezervoara za mleko, računatih prema zahtevima Direktive i novog Pravilnika s jedne strane, i starog Pravilnika sa druge strane.

ne posude pod pritiskom (*Sl. list SFRJ, 16/83*) (u daljem tekstu "stari" Pravilnik) /3/.

Za određivanje mehaničkih karakteristika materijala koriste se osobine kao što su modul elastičnosti, napon tečenja, zatezna čvrstoća, izduženje. Napon tečenja ima malo nejasnu istoriju upotrebe. Štaviše, još uvek nije postignut dogovor o jednoznačnom terminu, već se sreću izrazi konvencionalni napon tečenja, granica tečenja, granica razvlačenja, a čak i interpretacije mogu da budu različite. Nijedna nije univerzalno usvojena. Kao rezultat toga, pojavila se moderna upotreba kao arbitražno pravilo, konvencionalni napon tečenja $R_{p0.2}$, odnosno napon pri kome trajna plastična deformacija iznosi 0,2 %. Čini se da je ova veličina usvojena kao stvar praktičnosti. Ona je postala standardizovana, ako ni zbog čega drugog, da bi imali uobičajen

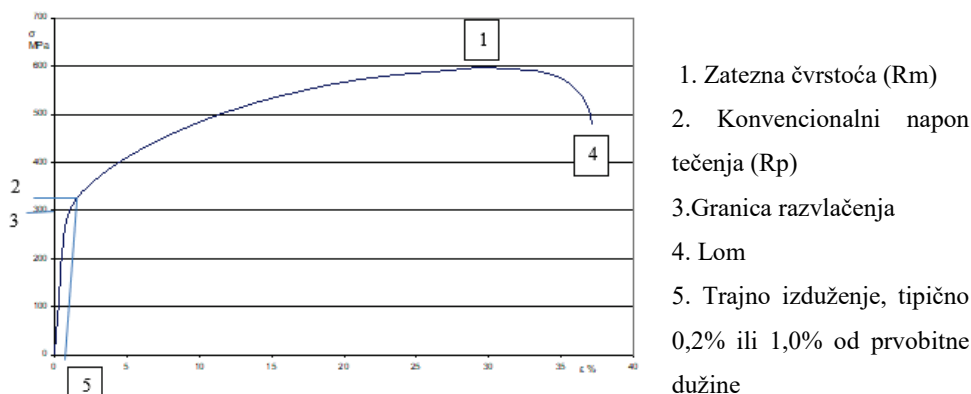
način za kalibraciju i upoređivanje performansi različitih materijala, /4/.

Međutim, stupanjem na snagu Direktive i novog Pravilnika, za potrebe proračuna dozvoljenih napona i debljine zida kod opreme pod pritiskom izrađenih od austenitnih čelika, počinje da se koristi konvencionalni napon tečenja pri kome je trajna plastična deformacija 1 %, odnosno, $R_{p1.0}$. Usvajanjem ovih vrednosti kao merodavnih, dozvoljeni naponi postaju veći, potrebne debljine zida pri istim uslovima i karakteristikama materijala, postaju manje, a time se dobija i znatna ušteda u materijalu.

U ovom radu su prikazane razlike u dozvoljenim naponima, potrebnim debljinama zida rezervoara za mleko Laktofriz IC1500 i okvirna ušteda u materijalu računatih prema zahtevima Direktive i novog Pravilnika s jedne strane, i starog Pravilnika sa druge strane.

IZRAČUNAVANJE DOZVOLJENIH NAPONA I POTREBNIH DEBLJINA ZIDA PREMA NOVOM I STAROM PRAVILNIKU ZA AUSTENITNE ČELIKE

Austenitni čelici sadrže između 16-25% Cr i 8-25% Ni i imaju površinski centriranu kubnu rešetku. Odlikuju se relativno dobrim konvencionalnim naponom tečenja, velikim opsegom između napona tečenja i zatezne čvrstoće, velikim izduženjem i kontrakcijom. Austenitni čelici se odlikuju i velikom udarnom žilavošću i zadržavaju veliku žilavost i na niskim temperaturama. Ovi čelici nemaju jasno izraženu granicu tečenja, pa se kao merodavan uzima konvencionalni napon tečenja, pri trajnoj plastičnoj deformaciji od 0.2%. S obzirom na visoku elongaciju koju poseduju, u mnogim slučajevima se ovaj napon zamenjuje naponom tečenja $R_{p1.0}$. Upravo kod proračuna posuda pod pritiskom, novi Pravilnik je uveo granicu 1,0 % u odnosu na 0,2 %, i time omogućio veće dozvoljene napone i manje debljine zida posuda pod pritiskom.



Slika 1. Dijagram napon-deformacija austenitnog čelika X6CrNiMoTi 17 12 2

Figure 1. Stress-strain curve of austenitic steel X6CrNiMoTi 17 12 2.

Na sl. 1. dat je dijagram napon-deformacija austenitnog čelika X6CrNiMoTi 17 12 2. Prikazane su karakteristične tačke: zatezna čvrstoća, konvencionalni napon tečenja, granica razvlačenja, tačka loma i tačka trajnog izduženja.

U tab. 1, u kolonama 1 i 2 prikazani su materijali karakteristični za austenitne čelike sa izduženjem $\geq 40\%$ (ime čelika – kolona 1 i broj čelika – kolona 2). U kolonama 3 i 4 su prikazane vrednosti konvencionalnih napona tečenja $R_{p0.2}$ i $R_{p1.0}$, a u koloni 5 vrednosti zatezne čvrstoće R_m za austenitne čelike sa procentualnim izduženjem $A \geq 40\%$, na

sobnoj temperaturi (20°C), preuzete iz standarda EN 10028 -7, /5/. U šestoj koloni su prikazane vrednosti dozvoljenih napona prema starom Pravilniku 16/83, gde je stepen sigurnosti 1,5. U poslednjoj koloni su prikazane izračunate vrednosti dozvoljenih napona, uzimajući u obzir stepene sigurnosti i preporuke iz Evropske direktive o opremi pod pritiskom i Pravilnika o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (*Sl. glasnik RS, br. 87/2011*).

Tabela 1. Vrednosti $R_{p0.2}$, $R_{p1.0}$ i R_m [MPa] za grupu austenitnih čelika sa $A = 40\%$ na sobnoj temperaturi, $t = 20^\circ\text{C}$, /5/
Table 1. Mechanical properties $R_{p0.2}$, $R_{p1.0}$ and R_m [MPa] of austenitic steel group with $A = 40\%$ at room temperature, $t = 20^\circ\text{C}$, /5/.

Čelik		$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	$R_{p0.2/1.5}$	max ($R_{p1.0/T/1.5}$); min ($R_{p1.0/T/1.2}$; $R_m/T/3$)
Ime	Broj					
X2CrNi18-9	1.4307	220	250	520 - 700	146.67	173.33
X2CrNi19-11	1.4306	220	250	520 - 700	146.67	173.33
X5CrNi18-10	1.4301	230	260	540 - 750	153.33	180.00
X2CrNi18-10	1.4311	290	320	550 - 750	193.33	213.33
X6CrNiTi18-10	1.4541	220	250	520 - 720	146.67	173.33
X6CrNiNb18-10	1.4550	200	240	520 - 720	133.33	173.33
X1CrNi25-21	1.4335	200	240	470 - 670	133.33	166.67
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	240	270	530 - 680	160.00	180.00
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	240	270	550 - 700	160.00	183.33
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	290	320	570 - 770	193.33	213.33

U koloni 7, tab. 1 i na sl. 2. (gornje vrednosti označene crvenom bojom) prikazane vrednosti dozvoljenih napona izračunate su prema formuli u Pravilniku o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (*Sl. glasnik RS, br. 87/2011*):

$$f_n = \max [(R_{p1.0/T/1.5}); \min(R_{p1.0/T/1.2}; R_{m/T/3})] \quad (1)$$

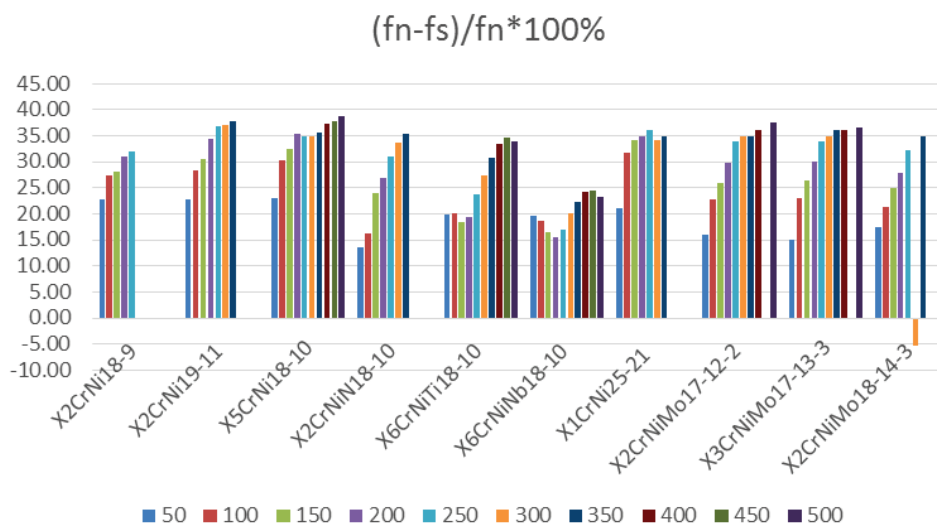
a u koloni 6 i na sl. 2. (donje vrednosti označene plavom bojom) dozvoljeni naponi prema Pravilniku 16/83 su izračunati prema formuli:

$$f_s = R_{p0.2/1.5} \quad (2)$$

Nova direktiva i novi Pravilnik, osim što uzimaju vrednosti napona tečenja pri 1% deformacije u odnosu na vrednosti napona tečenja za 0,2% deformacije, takođe uzimaju u obzir i vrednosti zatezne čvrstoće sa stepenom sigurnosti 3.

Analizom jedn.(1), radi boljeg razumevanja formula i uticaja konvencionalnog napona tečenja na dozvoljene napone, može da se zaključi sledeće:

- ukoliko je $R_{p1.2} < R_{m/3}$, drugi deo jedn.(1) ($\min (R_{p1.0/T/1.2}; R_{m/T/3})$), kao merodavno uzima se $R_{p1.2}$, pa se za proračun dozvoljenih napona uzima veća od vrednosti $R_{p1.5}$ i $R_{p1.2}$, a to je uvek $R_{p1.2}$;
- ukoliko je $R_{m/3} < R_{p1.2}$, drugi deo jedn.(1) ($\min (R_{p1.0/T/1.2}; R_{m/T/3})$), kao merodavno uzima se $R_{m/3}$ i, dalje se razmatraju dva slučaja: prvi, ako je $R_{m/3} > R_{p1.5}$ za proračun dozvoljenih napona merodavno je $R_{m/3}$ i drugi, ako je $R_{m/3} < R_{p1.5}$ za proračun dozvoljenih napona merodavno je $R_{p1.5}$. Iz navedenog sledi da ukoliko je $R_{p1.5} < R_{m/3} < R_{p1.2}$; onda je za određivanje dozvoljenih napona merodavna zatezna čvrstoća R_m .



Slika 2. Proc. razlika dozv. napona za austenitne čelike sa izduženjem ($A \geq 40\%$, na $t = 20^\circ\text{C}$) po novom (f_n) i starom (f_s) Pravilniku
Figure 2. Percentage difference of allowable stresses for austenitic steel ($A \geq 40\%$ at 20°C) according to the new (f_n) and old (f_s) Regulatory.

Iz tab. 1 i sl. 2. se vidi da su za austenitne čelike sa izduženjem $A \geq 40\%$, na temperaturi 20°C , dozvoljeni naponi po novom Pravilniku veći su 10-24% od dozvoljenih napona propisanih starim Pravilnikom 16/83.

U tab. 2 prikazane su izračunate vrednosti debljine zida za različite materijale. Kao primer je uzet rezervoar za mleko Laktofriz tip IC1500, proizvođača UMP ING W&S d.o.o. sledećih karakteristika: prečnik 500 mm, maksimalni radni pritisak $p = 30$ bar, /6/. Vrednosti dozvoljenih napona su izračunate prema novom i starom Pravilniku, jedn.(1) i (2) i data je njihova procentualna razlika. Procentualna raz-

lika između debljina po starom (S_s) i novom (S_n) Pravilniku je izračunata prema formuli:

$$\Delta S = (S_s - S_n)/S_s \cdot 100 \% \quad (3)$$

Ove vrednosti istovremenu predstavljaju i uštedu u materijalu koju dozvoljava novi Pravilnik. Zahvaljujući novim saznanjima i iskustvu, a na osnovu velike rezerve plastičnosti koju imaju austenitni čelici, omogućena je ušteda u materijalu koja, u nekim slučajevima kod nekih materijala, iznosi čak i 23 %.

Tabela 2. Debljine zida izračunate po starom i novom Pravilniku i procentualna vrednost uštede u materijalu koju dozvoljava novi Pravilnik.
Table 2. Wall thickness according to old and new Regulatory and percentage value of material savings permitted by the new Regulatory.

Materijal	$s = p \cdot D_s / (2f_z + p)$ (mm)	$s = D_s \cdot p / (20K/S \cdot v + p)$ (mm)	$(S_s - S_n) / S_s \cdot 100\%$ (%)
X2CrNi18-9	15.12	17.83	15.23
X2CrNi19-11	15.12	17.83	15.23
X5CrNi18-10	14.56	17.07	14.67
X2CrNiTi18-10	12.31	13.57	9.30
X6CrNiTi18-10	15.12	17.83	15.23
X6CrNiNb18-10	15.12	19.59	22.84
X1CrNi25-21	16.36	19.59	16.48
X2CrNiMo17-12-2	14.56	16.36	11.00
X3CrNiMo17-13-3	14.30	16.36	12.61
X2CrNiMo18-14-3	13.80	16.36	15.64

U tab. 3, 4 i 5 su date vrednosti konvencionalnog napona tečenja $R_{p0,2}$, konvencionalnog napona tečenja $R_{p1,0}$ i vrednosti zatezne čvrstoće na povišenim temperaturama za

različite austenitne čelike sa izduženjem $A \geq 40\%$. Vrednosti su preuzete iz standarda SRPS EN 10028-7.

Tabela 3. Vrednosti konvencionalnog napona tečenja $R_{p0,2}$ za grupu austenitnih čelika $A \geq 40\%$ na povišenim temperaturama, /5/
Table 3. Conventional proof strength $R_{p0,2}$ at elevated temperatures for austenitic group with $A \geq 40\%$, /5/.

Materijal \ °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
X2CrNi18-9	180	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	–
X2CrNi19-11	180	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	–
X5CrNi18-10	190	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	–
X2CrNi18-10	246	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	–
X6CrNiTi18-10	191	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118	–
X6CrNiNb18-10	191	177	167	157	147	136	130	125	121	119	118	–
X1CrNi25-21	181	150	140	130	120	115	110	105	–	–	–	–
X2CrNiMo17-12-2	204	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	–
X3CrNiMo17-13-3	214	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108	–
X2CrNiMo18-14-3	199	165	150	137	127	191	113	108	103	100	98	–

Tabela 4. Vrednosti konvencionalnog napona tečenja $R_{p1,0}$ za grupu austenitnih čelika $A \geq 40\%$ na povišenim temperaturama
Table 4. Conventional proof strength $R_{p1,0}$ at elevated temperatures for austenitic group with $A \geq 40\%$, /5/.

Materijal \ °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
X2CrNi18-9	201	162	147	137	127	121	116	112	109	108		
X2CrNi19-11	218	181	162	147	137	127	121	116	112	109	108	–
X5CrNi18-10	228	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120	–
X2CrNi18-10	284	240	210	187	175	167	161	156	152	149	147	–
X6CrNiTi18-10	228	208	196	186	177	167	161	156	152	149	147	–
X6CrNiNb18-10	229	211	196	186	177	167	161	156	152	149	147	–
X1CrNi25-21	217	180	170	160	150	140	135	130	–	–	–	–
X2CrNiMo17-12-2	242	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127	–
X3CrNiMo17-13-3	228	211	191	177	167	156	150	144	141	139	137	–
X2CrNiMo18-14-3	237	200	180	165	153	145	139	135	130	128	127	–

Tabela 5. Vrednosti zatezne čvrstoće R_m za grupu austenitnih čelika $A \geq 40\%$ na povišenim temperaturama, /5/
Table 5. Tensile strength R_m at elevated temperatures for austenitic steel group with $A \geq 40\%$, /5/.

Materijal \ °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
X2CrNi18-9	466	410	380	360	350	340	340	–	–	–	–
X2CrNi19-11	466	410	380	360	350	340	340	–	–	–	–
X5CrNi18-10	494	450	420	400	390	380	380	380	370	360	330
X2CrNi18-10	570	490	460	430	420	410	410	–	–	–	–
X6CrNiTi18-10	477	440	410	390	385	375	375	375	370	360	330
X6CrNiNb18-10	476	435	400	370	350	340	335	330	320	310	300
X1CrNi25-21	459	440	425	410	390	385	380	–	–	–	–
X2CrNiMo17-12-2	486	430	410	390	385	380	380	380	–	360	–
X3CrNiMo17-13-3	504	460	440	420	415	410	410	410	–	390	–
X2CrNiMo18-14-3	482	420	400	380	375	370	370	–	–	–	–

Na osnovu vrednosti iz tab. 3, 4 i 5 i formula preuzetih iz Direktive i Pravilniku o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (*Sl. glasnik RS, br. 87/2011*) i Pravilnika 16/83 izračunate su vrednosti dozvoljenih napona za ovu grupu čelika i u tab. 6 date su procentualne razlike dozvoljenih napona, izračunati prema novom i starom Pravilniku. Ova razlika je izračunata prema formuli:

$$\Delta f = (f_n - f_s) / f_n \cdot 100\% \quad (4)$$

Na sl. 3, vrednosti dobijene u tab. 6 su date grafički.

Interesantno je primetiti da je razlika dozvoljenih napona prema novom i starom Pravilniku veća na višim temperaturama nego na sobnoj temperaturi. Razlog tome je, uglavnom, što na višim temperaturama merodavna vrednost za određivanje dozvoljenih napona je zatezna čvrstoća, čime

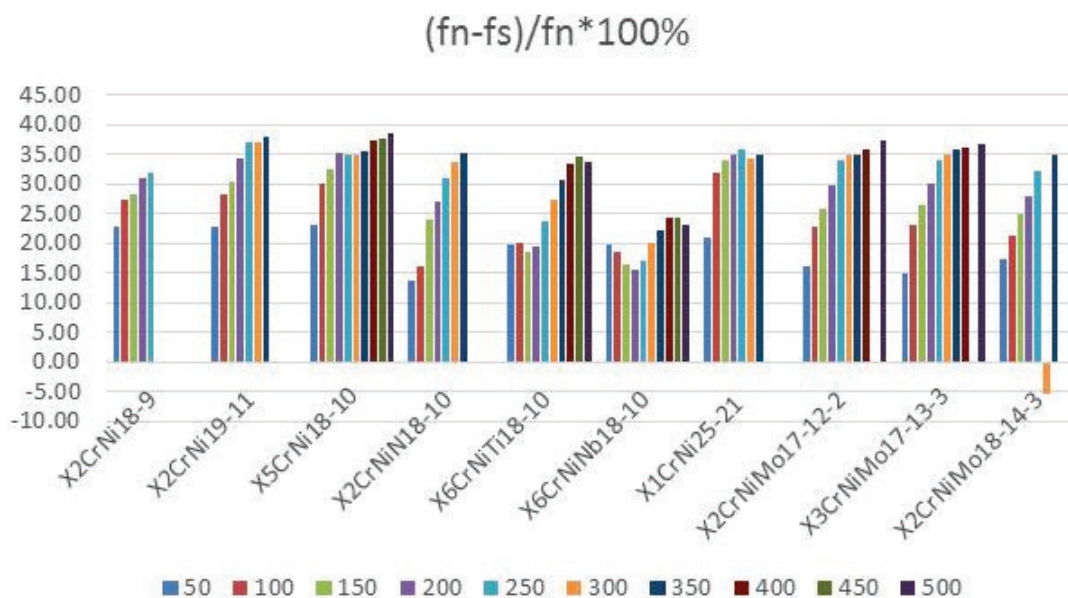
se dobijaju veći dozvoljeni naponi. Razlika u dozvoljenim naponima na temperaturama 400-500 °C za pojedine materijale iznosi i do 40 % ! Ovako velike razlike u projektovanju dovode do pitanja da li su posude ranije bile predimenzionisane pa ispitivanje pritiskom kod njih gubi smisao.

U tab. 7 su date vrednosti uštede materijala za austenitne čelike na povišenim temperaturama, koja se dobija primenom nove Direktive i novog Pravilnika. U pojedinim slučajevima ova vrednost dostiže i do 30%.

U tab. 8, odnosno 10, date su vrednosti napona tečenja $R_{p0,2}$, $R_{p1,0}$ i zatezne čvrstoće za austenitne čelike sa $A = 35\%$, odnosno, $A = 30\%$ na sobnoj temperaturi ($t = 20^\circ\text{C}$). U poslednjoj koloni je prikazana procentualna razlika potrebne debljine materijala za rezervoar istih radnih uslova i karakteristika računatih prema starom i novom Pravilniku.

Tabela 6. Proc. razlike dozv. napona prema "novom" i "starom" Pravilniku za grupu austenitnih čelika $A \geq 40\%$ na povišenim temp.
Table 6. Percent. differences of allowable stresses at elevated temp. according to 'new' and 'old' Regulative for austenitic steels $A \geq 40\%$.

Materijal \ °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
X2CrNi18-9	22.75	27.41	28.16	31.09	31.97	–	–	–	–	–
X2CrNi19-11	22.75	28.29	30.53	34.44	36.93	37.01	37.85	–	–	–
X5CrNi18-10	23.08	30.22	32.38	35.29	34.90	34.81	35.50	37.28	37.70	38.67
X2CrNiN18-10	13.68	16.33	23.91	26.98	30.95	33.66	35.40	–	–	–
X6CrNiTi18-10	19.92	20.00	18.54	19.49	23.64	27.47	30.67	33.33	34.59	33.89
X6CrNiNb18-10	19.75	18.62	16.50	15.59	16.95	20.00	22.39	24.24	24.38	23.23
X1CrNi25-21	21.13	31.82	34.12	35.00	36.00	34.29	34.81	–	–	–
X2CrNiMo17-12-2	16.05	22.79	25.85	29.74	34.03	34.90	34.96	36.00	–	37.50
X3CrNiMo17-13-3	15.08	23.04	26.36	30.00	33.98	34.87	36.00	36.11	–	36.69
X2CrNiMo18-14-3	17.43	21.43	25.00	27.89	32.27	-5.38	34.96	–	–	–



Slika 3. Grafički prikaz procentualnih vrednosti prikazanih u tab. 6
Figure 3. Graphical representation of the values shown in Table 6.

Tabela 7. Vrednosti debljina zida izračunatih prema formulama po starom i novom Pravilniku i procentualna vrednost uštede u materijalu koju dozvoljava novi Pravilnik, za austenitne čelike na povišenim temperaturama.

Table 7. Values of wall thickness calculated according to formulas in the old and new Regulative, and the percentage value of material savings allowed by the new Regulative for austenitic steels at elevated temperatures.

Materijal \ °C	$(S_s - S_n) / S_s \cdot 100$										
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
X2CrNi18-9	25.49	23.01	24.10	25.41	25.47						25.49
X2CrNi19-11	25.49	23.94	26.56	28.99	30.82	29.84	30.24				25.49
X5CrNi18-10	24.95	25.45	28.49	28.87	28.19	27.07	28.04	28.00	28.53	28.90	24.95
X2CrNiN18-10	15.24	15.80	19.47	20.41	23.51	25.07	26.58				15.24
X6CrNiTi18-10	13.04	10.57	9.77	11.16	16.65	18.17	21.27	23.74	23.98	22.54	13.04
X6CrNiNb18-10	12.37	9.55	7.55	6.92	9.46	9.88	12.01	13.51	12.30	10.26	12.37
X1CrNi25-21	22.84	24.83	27.68	29.03	27.46	25.66	26.38				22.84
X2CrNiMo17-12-2	19.42	16.62	21.10	23.07	27.51	26.27	26.47	27.76		27.49	19.42
X3CrNiMo17-13-3	17.19	16.94	21.14	22.96	27.64	27.23	27.46	26.41		26.47	17.19
X2CrNiMo18-14-3	19.24	15.77	19.16	21.07	-19.57	26.27	26.47				19.24

U tab. 9, odnosno tab. 11, prikazane su procentualne razlike potrebnih debljina materijala za rezervoar istih radnih uslova i istih karakteristika računatih prema starom i novom Pravilniku, za austenitne čelike $A = 35\%$, odnosno, $A = 30\%$ na povišenim temperaturama.

Analizom tab. 8-11 primećuje se da su i kod ovih austenitnih čelika sa $A = 35\%$ i 30% , kao i kod austenitnih čelika

sa $A = 40\%$, dozvoljeni naponi mnogo veći prema novom Pravilniku nego što su bili prema starom Pravilniku, što automatski vodi ka većoj uštedi u materijalu za izradu posuda pod pritiskom. Posebna i odvojena analiza materijala sa $A = 40\%$, 35% i 30% pokazala je da razlika u izduženjima nema nikakvog uticaja i nije od značaja za temu ovog rada.

Tabela 8. Vrednosti napona tečenja $R_{p0.2}$, $R_{p1.0}$ i zatezne čvrstoće za austenitne čelike sa izduženjem $A = 35\%$ na sobnoj temperaturi.

Izračunate vrednosti debljine zida za $p = 10$ bar, $D = 1500$ mm po starom i novom Pravilniku i procentualna ušteda na materijalu

Table 8. Mechanical properties $R_{p0.2}$, $R_{p1.0}$ and R_m for austenitic steels with $A = 35\%$ at room temperature. Calculated wall thickness values for $p = 10$ bar, $D = 1500$ mm, according to old and new Rules and material percentage savings.

Materijal		$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	$s = p \cdot D_s / (2f \cdot z + p)$	$s = D_s \cdot p / (20K/S \cdot v + p)$	$(S_s - S_n) / S_s \cdot 100$
Ime	Broj	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[%]
X8CrNiNb16-13	1.4961	200	240	510 - 690	5.17	6.59	21.49
X2CrNiMoN18-12-4	1.4434	290	320	570 - 770	4.12	4.55	9.35
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	300	330	580 - 780	4.00	4.40	9.07
X2CrNiMo18-15-4	1.4438	240	270	550 - 700	4.80	5.49	12.69
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	290	320	580 - 780	4.12	4.55	9.35
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	240	270	530 - 730	4.89	5.49	11.07
X1NiCrMoCuN20-18-7	1.4547	320	350	650 - 850	3.77	4.12	8.55
X6CrNi23-13	1.4950	220	250	530 - 730	4.98	5.99	16.92
X6CrNi25-20	1.4951	220	250	530 - 730	4.98	5.99	16.92

Tabela 9. Procentualna ušteda na materijalu za austenitne čelike $A = 35\%$ na povišenim temperaturama

Table 9. Material percentage savings for austenitic steels $A = 35\%$ at elevated temperatures.

Materijal \ t (°C)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
X8CrNiNb16-13	19.93	19.92	19.92	19.91	19.90	19.90	19.89	19.89	19.89	19.88	19.88
X2CrNiMoN18-12-4	5.51	15.55	19.92	19.92	19.91	19.90	19.90	19.90	19.89	19.89	19.89
X2CrNiMoN17-13-3	0.00	8.23	15.85	19.92	19.91	19.90	19.90	19.90		19.89	
X2CrNiMo18-15-4	16.81	19.92	19.91	19.90	19.90	19.89	19.88				
X2CrNiMoN17-13-5	9.13	13.42	18.30	19.49	19.92	19.91	19.91				
X1NiCrMoCu25-20-5	16.35	17.94	19.93	19.92	19.91	19.90	19.90				
X1NiCrMoCuN20-18-7	13.93	19.94	19.93	19.93	19.92	19.92	19.91	19.91	19.91	19.91	
X6CrNi23-13	19.92	19.90	19.89	19.88	19.87	19.86	19.85	19.85	19.84	19.84	19.83
X6CrNi25-20	19.92	19.90	19.89	19.88	19.87	19.86	19.85	19.85	19.84	19.84	19.83

Tabela 10. Vrednosti napona tečenja $R_{p0.2}$, $R_{p1.0}$ i zatezne čvrstoće za austenitne čelike sa izduženjem $A = 30\%$ na sobnoj temperaturi.

Izračunate vrednosti debljine zida za $p = 10$ bar, $D = 1500$ mm po starom i novom Pravilniku i procentualna ušteda na materijalu

Table 10. Mechanical properties $R_{p0.2}$, $R_{p1.0}$ and R_m for austenitic steels with an elongation $A = 30\%$ at room temperature. Calculated wall thickness values for $p = 10$ bar, $D = 1500$ mm, according to old and new Rules and material percentage savings.

Materijal		$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	A	$R_{p1.0/T/1.5}$	$s = p \cdot D_s / (2f \cdot z + p)$	$s = D_s \cdot p / (20K/S \cdot v + p)$	$(S_s - S_n) / S_s \cdot 100$
Ime	Broj	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]	[mm]	[mm]	[%]
X5NiCrAlTi31-20	1.4958	170	200	500-750	30	133.33	6.59	7.75	14.93
X8NiCrAlTi32-21	1.4959	170	200	500-750	30	133.33	6.59	7.75	14.93
X5NiCrAlTi31-20+RA	1.4958+RA	210	240	500-750	30	160.00	5.49	6.28	12.45

Tabela 11. Procentualna ušteda na materijalu za austenitne čelike $A = 30\%$ na povišenim temperaturama

Table 11. Material percentage savings for austenitic steels $A = 30\%$ at elevated temperature.

Materijal \ °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
X5NiCrAlTi31-20	13.99	12.43	13.52	14.72	15.89	17.26	18.04	18.89	19.44	19.83	20.86	20.86
X8NiCrAlTi32-21	13.99	12.43	13.52	14.72	15.89	17.26	18.04	18.89	19.44	19.83	20.86	20.86
X5NiCrAlTi31-20+RA	12.29	12.14	11.86	11.06	11.57	12.06	14.30	16.04	16.57	17.14	17.75	18.40

ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uticaj usvojene granice tečenja na dozvoljene napone i debljinu posude. Detaljnom analizom je utvrđeno da su dozvoljeni naponi koji se dobijaju proračunom prema Pravilniku o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom i Direktivi o opremi pod pritiskom *Pressure equipment directive* (PED-2014/68/EC) u odnosu na dozvoljene napone sračunate prema Pravilniku o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom 16/83, dostižu vrednosti i do 30% veće. Utvrđeno je da se ova razlika povećava sa povećanjem temperature.

ZAHVALNOST

Rad je nastao zahvaljujući podršci Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj, a finansiran je sa projekata TR37021, TR35040.

REFERENCES / LITERATURA

1. Regulations on Technical Requirements for Designing, Manufacturing and Conformity Assessment of Pressure Equipment (Official Gazette RS, No. 87/2011), 2011 (in Serbian). Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (*Sl. glasnik RS, br. 87/2011*), 2011.

2. Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Union, 2014.
3. Regulations on Technical Regulations for Stable Pressure Vessels, 1983. (in Serbian). Pravilnik o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom (*Sl. list SFRJ, 16/83*), 1983.
4. Christensen, R.M. (2008), *Observations on the definition of yield stress*, Acta Mech, 196: 239-244. doi 10.1007/s00707-007-0478-0
5. EN 10028-7: 2016, Flat steel products for pressure equipment - Part 7: Stainless steels. EN 10028-7:2016. Pljosnati proizvodi od čelika za opremu pod pritiskom – Deo 7: Nerđajući čelici.
6. <http://www.pumping.emcentar.com/images/proizvodi/gruposan/Laktofriz%20IC%20100-2500%20Tehnicky%20podaci.pdf>

© 2018 The Author. Structural Integrity and Life, Published by DIVK (The Society for Structural Integrity and Life 'Prof. Dr Stojan Sedmak') (<http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/home.html>). This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](#)

CP 2018 – The Sixth International Conference on Crack Paths Verona (Italy), 19-21 September, 2018

Main Topics

Experimental Determination of CP
Theoretical Prediction of CP
Integrity Assessments based on CP Evaluation
Microscopic Aspects of CP
CP of Surface Cracks
CP of Short Cracks
Effect of Large Scale Yielding on CP
Effect of Material Inhomogeneities on CP
Effect of Non-Proportional Cyclic Loading on CP
Effect of Environmental Conditions on CP
CP in Advanced Materials
Laboratory Methods of Controlling CP
In-Service Inspection of CP
Application of CP Concepts and Data in Design
CP in Additive Manufacturing Processes
Industrial Application of CP Concepts and Data

Local Organising Committee

C. Ronchei, D. Scorza, G. Fortese, A. Zanichelli

Scientific Committee


J.A. Araujo, Brasilia, M.R. Mitchell, Flagstaff
H. Askes, Sheffield, Y. Murakami, Fukuoka
B. Atzori, Padua, A. Navarro, Seville
F.P. Brennan, Cranfield, T. Palin-Luc, Talence
A.F. Canteli, Oviedo, J. Pokluda, Brno
J.T.P. Castro, Rio de Janeiro, H.A. Richard, Paderborn
G. Dhondt, Munich, A. Shanyavskiy, Moscow
G.M. Dominguez, A. Morelia, V. Shlyannikov, Kazan
V. Doquet, Palaiseau, C.M. Sonsino, Darmstadt
A. Fatemi, Toledo, A. Spagnoli, Parma
M. Freitas, Lisbon, Y. Sumi, Yokohama
F. Iacoviello, Cassino, L. Susmel, Sheffield
M.N. James, Plymouth, K. Tanaka, Nagoya
A. Kotousov, Adelaide, S. Valente, Turin
D. Kujawski, Kalamazoo, M. Vormwald, Darmstadt
Y. Matvienko, Moscow

 NTNU NTNU, Trondheim, Norway

 UNIVERSITÀ DI PARMA University of Parma, Italy

 Institute of Mechanics CAS, Beijing, China

 ESIS European Structural Integrity Society

 DVM German Association for Materials Research and Testing

 SF2M Société Française de Métallurgie et de Matériaux

 ASTM INTERNATIONAL

 IGF Italian Group of Fracture

Conference Chairpersons

Filippo Berto, Trondheim, Norway
Andrea Carpinteri, Parma, Italy
Youshi Hong, Beijing, China
Les P. Pook, Sevenoaks, UK
Sabrina Vantadori, Parma, Italy

Special Issues of International Journals with extended versions of selected papers presented at CP 2018 will be published after the Conference:

Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Special Issue on Crack Paths 2018

International Journal of Fatigue, Special Issue on Fatigue Crack Paths 2018

Website: <http://www.CP2018.unipr.it>