

VII MEĐUNARODNI NAUČNO-STRUČNI SKUP
O DOSTIGNUĆIMA ELEKTRO I MAŠINSKE
INDUSTRIJE

BANJALUKA
DEMI
2005

7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
ACCOMPLISHMENTS OF ELECTRICAL
AND MECHANICAL INDUSTRIES

27. i 28. maj 2005. god.

ZBORNIK RADOVA 7. MEĐUNARODNOG NAUČNO-STRUČNOG
SKUPA O DOSTIGNUĆIMA ELEKTRO I MAŠINSKE INDUSTRIJE

PROCEEDINGS OF THE 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
ACCOMPLISHMENTS OF ELECTRICAL AND MECHANICAL
INDUSTRIES

Izdavač
Publisher

MAŠINSKI FAKULTET BANJALUKA

Urednik
Editor

Dr Miroslav Rogić, van. prof.

Tehnička obrada i dizajn
Technical treatment and design

Biljana Prochaska, dipl. ing. maš.

Štampa -GRAFOPAPIR- Banja Luka
za štampu Petar Vukelić graf. ing.

Tiraž
Circulation

150 primjeraka

METODOLOŠKI PRISTUP MODELIRANJU I PRORAČUNU ČVRSTOĆE POKRETNE POSUDE POD PRITISKOM METODOM KONAČNIH ELEMENATA

Miodrag Arsić¹, Vujadin Aleksić¹, Stojan Sedmak²

Rezime: Projektovanje i proizvodnja opreme pod pritiskom (OPP), prema novoj regulativi Evropske unije (Direktiva 97/23/EC), obavlja se u saglasnosti sa pravnom i tehničkom regulativom, prema kojoj je primena usaglašenih standarda za proizvođača opreme neobavezna. Povećana odgovornost proizvođača daje veću slobodu u izboru metoda proračuna da bi se osigurala bezbednost.

U radu je dat metodološki pristup modeliranju i proračunu čvrstoće noseće strukture pokretne posude pod pritiskom metodom konačnih elemenata, saglasno novom i opštem pristupu za opremu pod pritiskom (Pressure Equipment Directive – PED), koji se odnose na integritet konstrukcija, tj. na osnovne zahteve sigurnosti, proračune, projektovanje i ispitivanje čvrstoće.

Ključne riječi: Direktiva 97/23/EC, oprema pod pritiskom, metoda konačnih elemenata

METHODICAL APPROACH TO MODELING AND STRENGTH CALCULATION OF MOBILE PRESSURE VESSEL BY USING OF FINITE ELEMENTS METHOD

Abstract: Designing and manufacturing of pressure equipment (PE) are performed according new technical and legal regulations of European Union (Directive 97/23/EC) which don't put the application of harmonized standards as an obligation for the equipment manufacturer. Enhanced responsibility of manufacturer enables free choice of calculation method is to ensure safety.

This paper presents methodical approach to modeling and strength calculation of mobile pressure vessel by using of finite element method, in accordance with new and general approach for pressure equipment (Pressure Equipment Directive – PED), which comprise structural integrity, i.e. basic safety requirements, calculations, designing and strength examination.

Keywords: Directive 97/23/EC, pressure equipment, finite elements method

1. UVOD

Prema važećim tehničkim normativima, osnovni zahtevi koji rukovode

¹ Dr Miodrag Arsić, mr Vujadin Aleksić, Beograd, Institut za ispitivanje materijala – IMS,

² Prof. dr Stojan Sedmak, Beograd, Društvo za integritet i vek konstrukcija - DIVK,
miodrag.arsic@institutims.co.yu, vujadin.aleksic@institutims.co.yu, divk@verat.net

jektovanje, proračun i izradu noseće strukture rezervoara za tečni CO₂ (TUD) su izdani: u "Pravilniku o tehničkim normativima za pokretne zatvorene posude za primirane, tečne i pod pritiskom rastvorene gasove", materijalnim podlogama ržanim u tehničkom opisu i mogućnostima i tehnološkoj opremljenosti proizvođača. Povećana odgovornost proizvođača daje veću slobodu u radu, primenu boljeg i umenijeg pristupa i mogućnosti uštede na troškovima.

2. DIREKTIVA 97/23/EC

Direktiva 97/23/EC /1/ sastoji se od 21 člana i 7 priloga. Osnovni tekst sadrži ne osnove i najopštije tehničke zahteve, vrste opreme pod pritiskom, odredbe koje odnose na "notifikovana tela" za ispitivanja usaglašenosti proizvoda i redosled izivanja. Prilozi određuju/preciziraju tehnički sadržaj zahteva.

Direktiva se oslanja na harmonizovane standarde i pomoćne harmonizovane jarde.

Harmonizovani standardi za opremu obuhvaćenu direktivom, dati su prema opreme, zasad samo u verziji predloga i to:

Posude pod pritiskom koje se ne greju	pr EN 13445 delovi 1-6
Kotlovi sa velikom zapreminom vode	pr EN 12953 delovi 1-12
Kotlovi sa vodogrejnim cevima	pr EN 12952 delovi 1-15
Industrijske cevi, cevovodi	pr EN 13480 delovi 1-6
Sigurnosna oprema	nema
Oprema izložena pritisku	nema
Montažne jedinice	nema

Prema Direktivi metode proračuna moraju pružiti dovoljno bezbednosti u skladu tevim. Zahtevi se mogu ispuniti primenom jedne od sledećih metoda, kako u trenutku odgovara, ako treba kao dopuna ili kombinacija sa drugom metodom: pomoću formula,

primeenom metode konačnih elemenata, analizama, parametrima mehanike loma.

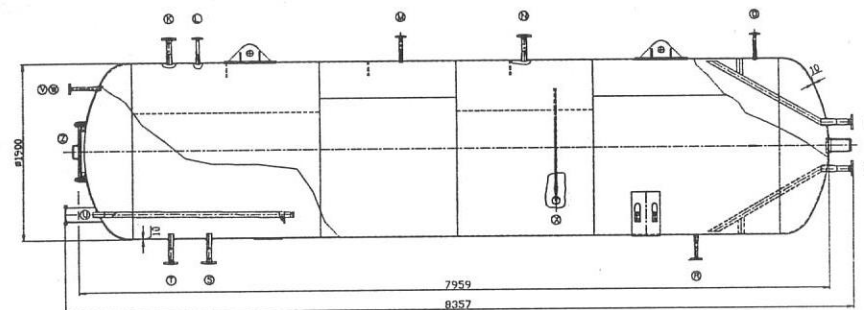
TEHNIČKE KARAKTERISTIKE REZERVOARA ZA TUD

Rezervoar iz proizvodnog programa "GOŠA" spada u grupu pokretnih posuda tiskom za smeštaj i transport tečnog ugljen-dioksida, horizontalne izvedbe. e karakteristike rezervoara su:

Najveći dozvoljeni radni pritisak	20 bara
ispitni pritisak	26 bara
Maksimalna i minimalna temperatura	-30 ⁺³ °C
Radni medijum	neotrovan, nezapaljiv, neeksplozivan
zapremina	21 m ³
masa prazne posude	4400 kg
najveća masa punjenja	20440 kg.

Izimajući opšte i lokacijske činioce rezervoar spada u klasu II posuda pod . Dimenzije rezervoara date su na sl.1. a spajanje elemenata strukture u nerazdvojivu vezu koristi se postupak šnog zavarivanja, na način propisan tehnologijom zavarivanja.

Rezervoar se ugrađuje na drumsko vozilo, na pripremljene oslonce, a tek onda odgovarajuća oprema. Po nameštanju na vozilo, mala je verovatnoća da će u svom veku biti premeštan na drugo vozilo.



Sl. 1 Rezervoar za tečni ugljen dioksid zapremine 21 m³

4. OPTEREĆENJA ZA PRORAČUN

Merodavna opterećenja proističu iz standarda, a odnose se na projektovanje, proračun i konstruisanje pokretnih posuda pod pritiskom za tečni ugljen dioksid. Zavisno od vrste, namene i klase posude, uzimaju se u obzir:

1. mirna opterećenja stvorena unutrašnjim pritiskom;
2. dinamička i udarna opterećenja uključujući i nagle promene pritiska;
3. opterećenja stvorena statičkim pritiskom radne materije;
4. opterećenja izazvana sopstvenom masom posude i masom radne, odnosno ispitne materije;
5. opterećenja izazvana priključnim cevovodima, radnom opremom i izolacijom;
6. opterećenja izazvana vetrom (u slučaju postavljanja posude na otvorenom prostoru);
7. opterećenja izazvana seizmičkim potresom;
8. naprezanja izazvana temperaturnim poljima u materijalu;
9. lokalna naprezanja na mestima priključivanja, odnosno oslanjanja;
10. opterećenje izazvano dizanjem praznog rezervoara.

4.1. Analiza opterećenja

U radnom veku ovaj rezervoar je izložen svim nabrojanim opterećenjima, ali su dominantna opterećenja pod rednim brojem: 1, 3, 4, 9 i 10. Ostale vrste opterećenja, zbog svog malog uticaja na čvrstoću i stabilnost rezervoara nisu uzete u obzir pri proračunu.

Za slučaj opterećenja pod rednim brojem 1, mirno opterećenje stvoreno unutrašnjim pritiskom, usvaja se samo ispitni pritisak od 26 bar (2.6 Mpa).

Za slučaj opterećenja pod rednim brojem 3, opterećenje stvoreno statičkim pritiskom radne materije, usvaja se kontinualno raspoređena masa maksimalnog punjenja po čitavom rezervoaru od 20440 kg.

Za slučaj opterećenja pod rednim brojem 4, opterećenje izazvano sopstvenom

nasom posude i masom radne ili ispitne materije, uz istovremeno dejstvo pritiska, usvaja se kontinualno raspoređena masa posude i masa maksimalnog punjenja po celovitoj rezervoaru, 4400+20440, od 24840 kg i 26 bar.

Naprezanja izazvana slučajem opterećenja pod rednim brojem 9, lokalna naprezanja na mestima priključivanja, odnosno oslanjanja, delimično su uzeta u obzir u specifičnom konceptu modeliranja rezervoara, tako da se ostavlja mogućnost logradnje bilo kog postojećeg priključka u cilju dobijanja tačnije raspodele napona oko priključka, a time i sagledavanje uticaja koncentracije napona na čitavu strukturu.

Za slučaj opterećenja 10, izazvanog dizanjem praznog rezervoara preko uški rezervoara čeličnim užadima pod uglom od 45°, usvaja se opterećenje izazvano delovanjem sopstvene mase rezervoara od 4400 kg.

4.2. Dozvoljene deformacije i naponi

Najveće dozvoljene deformacije su definisane zahtevom da kod primenjenih opterećenja ne smeju postojati trajne deformacije, a one su definisane materijalom od kojeg je izrađena posuda. Rezervoar za tečni CO₂ izrađen je od sitnozrnog čelika StE355, čija su mehanička svojstva data u tab.1.

Tabela 1. Mehanička svojstva materijala TStE355

Modul elastičnosti	Poissonov koeficijent	Granica tečenja	Zatezna čvrstoća	Izduženje	Žilavost [J]	
					-20 °C	-50 °C
E [MPa]	ν []	R _{eH} [MPa]	R _m [MPa]	Lo=5d [%]	-20 °C	-50 °C
200000	0.3	414 - 436	574 - 582	28-30	176-200	50-53

Da bi stanje materijala ostalo u granicama elastičnosti i posle prestanka delovanja opterećenja usvajan je minimalni stepen sigurnosti za deformacije i napon = 1.1. Pa prema tome sledi da dozvoljeni napon i dozvoljena dužina izvijanja iznose:

$$\sigma_{doz} = R_{eH} / S = 414 / 1.1 = 376 \text{ MPa}$$

$$l_{doz} = \sigma_{doz} / E = 376 \cdot 835.7 / 200000 = 1.57 \text{ cm}$$

Vodeći računa o postavljenim zahtevima u pogledu opterećenosti strukture rezervoara urađen je sledeći proračun metodom konačnih elemenata (MKE) u programu KOMIPS /3/.

5. MODEL NOSEĆE STRUKTURE REZERVOARA

Rezervoar se tretira kao prostorna struktura međusobno povezanih elemenata na ploče (četvorougone i trougane) promenljivog poprečnog preseka.

Celokupna noseća struktura je svedena na: srednju ravan omotača i prednjeg i zadnjeg dancu. Svi priključni elementi su svedeni u jednu od navedenih ravni, pa su upravljeni odgovarajući modeli čiji su elementi definisani podacima očitanim sa sl.1,2.

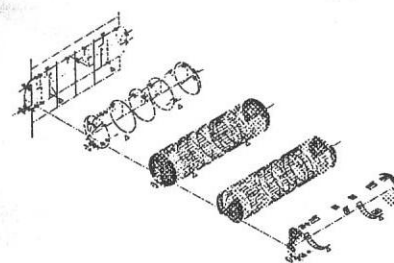
Usvojeni mehanički model, sl. 3., ima 3242 čvora i 3308 elemenata tipa ploče. Globalni koordinatni sistem modela, sl. 3., je usvojen tako da je:

- koordinatni početak "O" u centralnoj osi rezervoara na početku revizionog otvora,
- osa "Ox" se prostire upravno na centralnu osu rezervoara u pravcu suprotnom od X priključka,
- osa "Oy" se prostire upravno na centralnu osu rezervoara u pravcu priključka K (sl.1) i
- osa "Oz" se poklapa sa centralnom osom rezervoara, tako da sa prethodne dve ose čini trijedar.

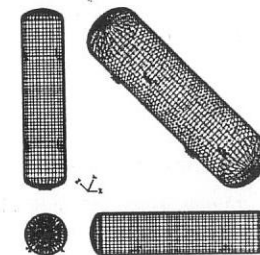
Statički proračun strukture je urađen za navedena opterećenja koja se moraju

uzeti u obzir pri proračunu čvrstoće i stabilnosti posude.

Za dinamička opterećenja nije urađen poseban dinamički proračun strukture. Odgovarajući zaključci su izvedeni iz statičkog proračuna.



Sl.2 Raspodela ploča omotača, oslonaca, priključaka i uški svedenih na ploče modela

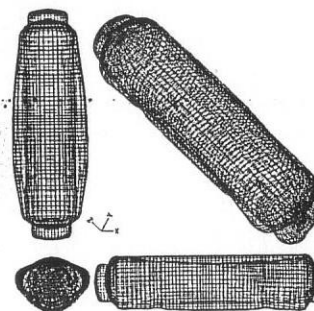


Sl.3 Usvojeni model rezervoara za proračun

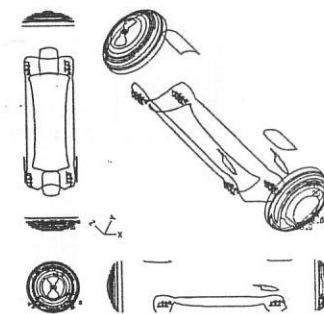
6. REZULTATI PRORAČUNA

Za elemente tipa ploče, izračunati su najveći ekvivalentni naponi u konkretnom preseku odgovarajućim programskim modulima.

Deformacije (pomeranja čvornih tačaka) za karakterističan i kritičan slučaj opterećenja 4 su prikazane na sl.4, a naponska slika na sl. 5.



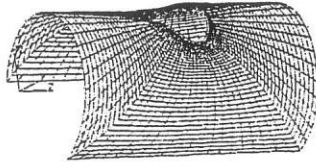
Sl.4 Pomeranja čvornih tačaka za slučaj opterećenja 4



Sl.5 Naponi u elementima za slučaj opterećenja 4 >20 kN/cm² sa korakom 4

Za slučaj opterećenja 4, ostvarena su najveća pomeranja na prednjem i zadnjem dancu u području priključaka U,X,Z i P,Q, a vrednosti su u granicama dozvoljenih.

Naponi u elementima ploča su ispod dozvoljenih napona, s tim da se u zoni priključaka U,X veoma približavaju dozvoljenoj granici za predviđenu vrstu materijala, sl.6.



Sl.6 Deformisano stanje rezervoara na mestu priključka

6.1 Analiza stabilnosti elemenata noseće strukture

Površinski elementi koji su izloženi pritisku ili smicanju trebaju da zadovolje love stabilnosti. Stabilnost elemenata omotača (plašta) proverava se na površini ista između uški. Dimenzije su: $h=1.0$ cm - debljina plašta, $a=430.0$ cm - dužina lja, $b=33.5$ cm - širina polja.

Kritični naponi se dobijeni izrazima:

$$\sigma_{kr} = K_{\sigma} \cdot E \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^2 \quad \text{i} \quad \tau_{kr} = K_{\tau} \cdot E \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^2 \quad (1)$$

Za odnos $b/a=33.5/430.0=0.078$ koeficijenti konturnih uslova za slučaj ještenih ivica polja plašta iznose $K_{\sigma}=3.8$ i $K_{\tau}=8$, pa su kritični naponi;

$$\sigma_{kr} = 3.8 \cdot 210000 \cdot \left(\frac{1.0}{33.5}\right)^2 = 711.1 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{kr} = 8 \cdot 210000 \cdot \left(\frac{1.0}{33.5}\right)^2 = 1497.0 \cdot \text{MPa}$$

Ovi naponi dokazuju da u delovima plašta koji su izloženi naponima pritiska ili smicanja zbog nižih vrednosti od kritičnih ne može doći do gubitka stabilnosti.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata i analiza naponskog i deformacionog stanja, može se konstatovati da se naponi i deformacije nalaze u granicama dozvoljenih. Analizom stabilnosti je utvrđeno da se u datim režimima opterećenja ne može izgubiti stabilnost.

Naponi u elementima ploča su znatno ispod dozvoljenih, osim u zoni ključaka U,X gde se približavaju dozvoljenoj granici za predviđenu vrstu materijala, za veću sigurnost potrebno je izvršiti ojačavanje rezervoara u tim zonama.

Ovim primerom proračuna je prikazan novi i opšti pristup nove regulative i tehničkom usaglašavanju opreme pod pritiskom (Pressure Equipment Directive – PED), koji se odnose na integritet konstrukcija, tj. na osnovne zahteve sigurnosti, proračuna i projektovanja.

LITERATURA

Direktiva za opremu pod pritiskom 97/23/EC (PED) sa priložima Standardi i propisi vezani za proračun, izradu i eksploataciju posuda pod pritiskom Taško Maneski : KOMPJUTERSKO MODELIRANJE I PRORAČUN STRUKTURA, monografija, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.

PROCENA INTEGRITETA ZAVARENIH SPOJEVA PROCEDUROM JWES 2805

Vujadin Aleksić¹, Aleksandar Sedmak², Miodrag Arsić¹

Rezime: U radu je analizirana inženjerska metoda JWES 2805 i mogućnost njene primene na zavarene spojeve, imajući u vidu specifičnost zavarenih spojeva, a sve sa ciljem dobijanja dovoljno tačne i jednostavne inženjerske procedure za određivanje sile rasta prsline (SRP) u zavarenim spojevima u kojima su prisutni zaostali naponi i koncentracija napona.

Ključne riječi: procedura JWES 2805, zavareni spoj, sila razvoja prsline (SRP)

ASSESSMENT INTEGRITY OF WELDED JOINTS USING JWES 2805 PROCEDURE

Abstract: Engineering method JWES 2805 and the possibility of her application to welded joints, having in mind their properties, are analyzed in the paper, with the aim to get sufficiently accurate and simple engineering procedure for determination of crack driving force in welded joints in which residual stresses and stress concentration are presented.

Keywords: JWES 2805 procedure, welded joint, crack driving force (CDF)

1. UVOD

U cilju potrebe za produženjem života konstrukcije, koristeći princip tolerancije štete baziran na načelima mehanike loma, na raspolaganju su nam veći broj postupaka procene integriteta konstrukcije koji ilustruju pogodnost za upotrebu elemenata koji prenose opterećenja, a sadrže grešku tipa prsline. Poseban značaj u primeni mehanike loma imaju zavareni spojevi, kod kojih se ne može isključiti mogućnost postojanja ili nastajanja takvih grešaka. Analiza ponašanja zavarenih spojeva sa prslinama je od ključnog značaja za njihovu sigurnu eksploataciju. Bitan aspekt te analize je određivanje SRP, koja mora obuhvatiti specifičnosti zavarenih spojeva: zaostale napone i koncentraciju napona (geometrijske nepravilnosti).

2. ANALIZA UTICAJA NA PROCENU INTEGRITETA ZAVAREOG SPOJA

Pri analizi uticajnih faktora na procenu integriteta zavarenog spoja primenom principa mehanike loma treba obratiti pažnju na sledeće faktore:

¹ Mr Vujadin Aleksić, dr Miodrag Arsić, Beograd, Institut za ispitivanje materijala - IMS,

² Prof. dr Aleksandar Sedmak, Beograd, Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine,
vujadin.aleksic@institutims.co.yu, miodrag.arsic@institutims.co.yu, aleksandar.sedmak@mnrtr.sr.gov.yu