

30. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS



23. simpozijum
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**

17. simpozijum
CAD/CAM

26. simpozijum
NU – ROBOTI –FTS

32. simpozijum
**UPRAVLJANJE PROIZVODNOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

10. simpozijum
MENADŽMENT KVALITETOM

Organizator:

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

Beograd, april 2004..

30. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

Organizator:

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

Adresa:

27. marta 80, 11000 Beograd, JUGOSLAVIJA

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364,

E-mail: jupiter@mas.bg.ac.yu

Tehnički urednici:

Prof. dr Bojan Babić

Doc. dr Radovan Puzović

Mr Mihajlo Popović

Mr Radomir Ivanović

Kosta Herman

Dejan Stošić

Beograd, april 2004..

Tiraž: 250 primeraka

Štampa: TehnicomNET, 11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića 37b

ISBN 86-7083-488-X

30. JUPITER KONFERENCIJA

Programski odbor:

Prof. dr Bojan Babić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Pavao Bojanić, Mašinski fakultet Beograd • Dr Mirko Bućan, LOLA Korporacija Beograd • Mr Goran Vujačić, Beogradelektro Beograd • Prof. dr Miloš Glavonjić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Milisav Kalajdžić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Vidosav Majstorović, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Vladimir Milačić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Dragan Milutinović, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Miroslav Pilipović, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Žarko Spasić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet Beograd • Dr Nebojša Čović

Naučni odbor:

Prof. dr Slavko Arsovski, Mašinski fakultet Kragujevac • Prof. dr Bojan Babić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Pavao Bojanić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Ilija Ćosić, FTN Novi Sad • Dr Mirko Đapić, LOLA Institut Beograd • Prof. dr Ratko Gatalo, FTN Novi Sad • Prof. dr Miloš Glavonjić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Ratomir Ječmenica, Tehnički fakultet Čačak • Prof. dr Milisav Kalajdžić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Vidosav Majstorović, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Vladimir Milačić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Dragan Milutinović, Mašinski fakultet Beograd • Doc. dr Zoran Miljković, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Milan Perović, Mašinski fakultet Podgorica • Prof. dr Petar Petrović, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Miroslav Pilipović, Mašinski fakultet Beograd • Doc. dr Radovan Puzović, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Zoran Radojević, FON Beograd • Prof. dr Ranko Rakanović, Mašinski fakultet Kraljevo • Prof. dr Žarko Spasić, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet Beograd • Prof. dr Miroslav Trajanović, Mašinski fakultet Niš • Prof. dr Radomir Vukasojević, Mašinski fakultet Podgorica • Akademik Miomir Vukobratović, Institut "Mihajlo Pupin" Beograd

Organizacioni odbor:

Prof. dr Bojan Babić, Mašinski fakultet Beograd, • Doc. dr Radovan Puzović, Mašinski fakultet Beograd • Mr Mihajlo Popović, Mašinski fakultet Beograd • Mr Radomir Ivanović, Mašinski fakultet Beograd • Kosta Herman, Mašinski fakultet Beograd • Dejan Stošić, Mašinski fakultet Beograd

Izaberite plenarnu sednicu ili simpozijum JUPITER Konferencije

PLENARNA SEDNICA
PLENARY SESSION

**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
INDUSTRIJE PRERADE METALA**
CIM IN THE STRATEGY OF TECHNOLOGICAL
DEVELOPMENT OF METALWORKING INDUSTRY

CAD/CAM

NU – ROBOTI – FTS
NC - ROBOTS – FMS

**UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U INDUSTRIJI
PRERADE METALA**
PRODUCTION CONTROL IN METALWORKING INDUSTRY

MENADŽMENT KVALITETOM
QUALITY

POKROVITELJI

Spisak svih radova na JUPITER Konferenciji

ALEKSIĆ V., ARSIĆ M., ANĐELKOVIĆ Z. Prilog modeliranju i proračunu opreme pod pritiskom metodom konačnih elemenata	2.14
ANGHEL C., GILLICH R., SUCIU E. Neuronal solutions for the determination of the unscrew force variation dependent on the thread helix canting medium angle	3.5
ARSOVSKI S., STEFANOVIĆ M. Metodologija i strategije reinženjeringa softverskih aplikacija	1.7
AVAKUMOVIĆ Č. Upravljanje rastom malog preduzeća	4.1
BABIĆ B., KALAJDŽIĆ M. Trendovi razvoja fleksibilne automatizacije.....	3.87
BERKOVIĆ I., ĐEKIĆ V. Primena kompjuterske grafike za virtuelno 3d predstavljanje odevnih predmeta i ljudi.....	2.6
BOJANIĆ, P. Problem segmentacije površina u rekonstrukciji modela ljudske glave	2.22
BOJOVIĆ B., KALAJDŽIĆ M. Predstavljanje fraktala kroz novu paradigmu u nauci i tehnici.....	3.103
BONIŠOVA M., LIPA Z. The new trends in superfinishing.....	3.30
BUĆAN M., KVRGIĆ V. Savremeni trendovi u razvoju alatnih mašina.....	S.22
BULATOVIĆ M. Uticaj politike planiranja prenosa materijala na karakteristike proizvodnih sistema	4.5
COMAN L., IANICI S. System for optical analysis of metal sheet forming.....	3.17
ĆURČIĆ S., MARIĆ A. Reinženjering linije za proizvodnju hleba u funkciji automatizacije.....	4.9
ĐAPIĆ M. Unapređenje procesa razvoja korišćenjem aksiomske teorije projektovanja.....	3.115
DAVIDESCU A., STICLARU C. The influence of misalignment at working temperature upon function of a face seal	2.43
DIBALOVA M., LIPA Z. Specifics of grinding process.....	3.33
DIMITRIJEVIĆ P., VUČIĆEVIĆ M., RADOJEVIĆ M. Kvalitet projekta sa aspekta sigurnosti funkcionisanja.....	5.10
DIMITROV B. Određivanje graničnog odnosa pri dubokom izvlačenju lima eksplozijom	3.127
DRAGULESCU D., TOTH-TASCAU M., DREUCEAN M., RUSU L., MORCOVESCU V. Vibrations influence on the human composite motion	3.135
DRNDAREVIĆ D., MILIVOJEVIĆ M., SOKIĆ D., RADOJIČIĆ N. Sistem označavanja poslovanja u valjaonici aluminijuma.....	1.19
GILLICH R., IANICI S., POTOCEANU N., ANGHEL C. Behavior of human body in vibrating environment.....	3.37
GLAVONJIĆ M., MILUTINOVIĆ D., ŽIVANOVIĆ S., KVRGIĆ V., VIŠNJIĆ Z. O jednoj troosnoj paralelnoj mašini.....	3.49
HERMAN K., SPASIĆ Ž. Informaciona integracija podsistema održavanje i dijagnostika i praćenje proizvoda u eksploataciji.....	1.27
IANICI S., GILLICH R., COMAN L. Dynamic analysis of the double harmonic transmission (T.H.D.).....	3.9

IVANOVIĆ R., KOVLJENIĆ B., POPOVIĆ M. Razvoj informacione podrške za sistem praćenja proizvodnje	4.13
JAKOVLJEVIĆ Ž., PETROVIĆ P. Primena vejtlet transformacije u detekciji diskontinuiteta u signalu	4.17
JARAMAZ D., RADIŠA R., ČOVIĆ N. Primena metoda proračuna vitalnih nosećih struktura	2.10
JOKANOVIĆ S. Sistem za obuku o NURBS geometriji: dio 1 – B-splajn krive linije	2.18
JOVIŠEVIĆ V. Uklanjanje tehničkih barijera za izvoz proizvoda	5.14
КАЛАЈЦИЋ, М., БОЈАНИЋ П., ТАНОВИЋ Љ. Активности катедре за производно машинство	S.1
KOKOTOVIĆ B. Praktični aspekti korišćenja signala struje servomotora u nadzoru procesa obrade	3.83
KOMADINIĆ V., VUKIĆEVIĆ V. Analiza softverskih proizvoda za upravljanje održavanjem tehničkih sistema	4.23
KRIVOŠIĆ I., ŠKATARIĆ D. Optimizacija integralnog panela noseće strukture letelica	3.65
LAZAREVIĆ I., MILJKOVIĆ Z., BAJOVIĆ P. Primena veštačkih neuronskih mreža u modeliranju i predviđanju otkaza filtera u industriji prerade vode	3.119
LETIĆ D., DESNICA E. Grafičke komunikacije i mrežna podrška konstruisanju	2.39
LUKIĆ L., ANĐELKOVIĆ Z., STAMATOVIĆ S. Informacioni sistem za upravljanje proizvodnjom	4.27
LUKIĆ L., KALAJDŽIĆ M. Prilog proračunu pogonskih sistema linearnih kretanja kod teških CNC mašina alatki	3.55
MAJSTOROVIĆ, V., Digitalna fabrika – fikcija, stvarnost ili budućnost	3.139
MAJSTOROVIĆ V. Prilog razvoju modela integrisanog menadžment sistema	5.1
MANDIĆ V., ŽIVKOVIĆ M., PETROVIĆ M., VULOVIĆ S. Analiza procesa vučenja - eksperimentalna istraživanja i FEM simulacija	3.97
MIJANOVIĆ M. DNC i bežični DNC	3.45
MILUTINOVIĆ D. Konceptijsko projektovanje robotizovanih ćelija za elektrolučno zavarivanje	3.71
NAVALUŠIĆ S., ZELJKOVIĆ M., MILOJEVIĆ Z., TABAKOVIĆ S. Rekonfiguracija i retrofiting - trend u razvoju mašina alatki	3.59
NEŠIĆ N., MAJSTOROVIĆ V. Predstavljanje tolerancija u STEP modelu proizvoda	5.20
OSIPOV A., MELNIYCHUK Y., SMIRNOVA T., TANOVIĆ L. Предпосылки и перспективы создания двухслойных керамических пластин с термостойким режущим слоем на снове	3.25
POPOVIĆ M., SLAVKOVIĆ R., JUGOVIĆ Z. Unapređenje procesa projektovanja alata za brizganje plastike primenom savremenih CAD sistema	2.35
RADIĆ V. Zavarivanje eksplozijom: od principa do prakse	3.123
RADOJEVIĆ Z., RADOJEVIĆ M., BOŠKOVIĆ D. Mesto i uloga CIM sistema u primeni JIT proizvodnje	1.1

RADUCA E. Function generator from PC	3.131
RAKONJAC M. CIM u malim proizvodnim preduzećima.....	1.23
ROMIĆ L. Primena internetske tehnologije u inoviranju računovodstvene funkcije	1.15
SEKULIĆ S. Pouzdanost koja odgovara srednjem vremenu bezotkaznog rada.....	2.1
ŠKATARIĆ D., KRIVOŠIĆ I. Raspodela napona u okolini naprsle ploče	3.68
SLAVKOVIĆ R., MILIĆEVIĆ I. Metodologija projektovanja tehnologije izrade konusnih noževa za pripremu papirne mase	2.31
SLAVKOVIĆ G. Web obrasci.....	4.31
SOLDAT D., MALIĆ D., MALIĆ M. Moduli softvera za sistemsku podršku u procesu održavanja proizvodne opreme	4.35
STEFANOVIĆ M., ARSOVSKI S. Uparedna analiza postojećeg stanja IS u domaćoj i inostranoj metaloprerađivačkoj industriji.....	1.11
STOŠIĆ, D., BABIĆ, B., IVANOVIĆ, R., POPOVIĆ, M. Transformisanje postojećeg CAPP za višekorisničko okruženje.....	4.39
TANOVIĆ L. Mikrorezanje keramičkih materijala.....	3.92
TESLIĆ ALEKSIĆ M. Pravci razvoja tahografa sa aspekta pouzdanosti.....	5.26
TOTH-TASCAU M., DRAGULESCU D., DREUCEAN M. Obstacle expanding for a two-dimensional workspace	3.13
VELJIĆ M., ŽIVKOVIĆ D. Sistem kvaliteta u održavanju hidraulike žitnog kombajna	5.30
VUKAS S. Prošlo je pet godina od sertifikacije sistema kvaliteta, gde smo i šta dalje	5.34
VUKIĆEVIĆ V., KOMADINIĆ V., BOŠKOVIĆ V. Prilog izboru koncepcija održavanja tehničkih sistema.....	4.45
ŽIVANOVIĆ S. Varijantnost konfigurisanja mašina sa paralelnom kinematikom i pravolinijskim aktuatorima.....	3.79
ŽIVKOVIĆ S. Mašinska obrada na solidima	2.27
Бобырь М., Грабовский А., Яхно Б. МОДЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ СЛОЖНОМ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ	3.21
Згуровский М.З., Бобырь Н.И. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В НТУУ "КПИ" И БОЛОНСКИЙ ПРОЦЕСС.....	S.19
Мельничук П., Выговский Г., Громовой А., Лоев В. ТОРЦОВЫЕ ФРЕЗЫ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	3.41
Петраков Ј., Коростышевский Д. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКОЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ.....	3.1

V. Aleksić, M. Arsić, Z. Anđelković*

**PRILOG MODELIRANJU I PRORAČUNU OPREME POD PRITISKOM
METODOM KONAČNIH ELEMENATA***Rezime*

U radu je na primeru modeliranja i proračuna strukture rezervoara za tečni ugljen dioksid (TUD) prikazan metodološki pristup proračunu, metodom konačnih elemenata, a u saglasnosti sa metodama definisanim novim i opštim pristupom standardizaciji i tehničkom usaglašavanju za OPP (Pressure Equipment Directive – PE – dokumenti 90/683/EEC i 93/465/EEC). Na osnovu analize dobijenih rezultata proverena je stabilnost elemenata strukture rezervoara, ocenjena su dozvoljena naprezanja, a dati su i predlozi u cilju poboljšanja i optimizacije date strukture.

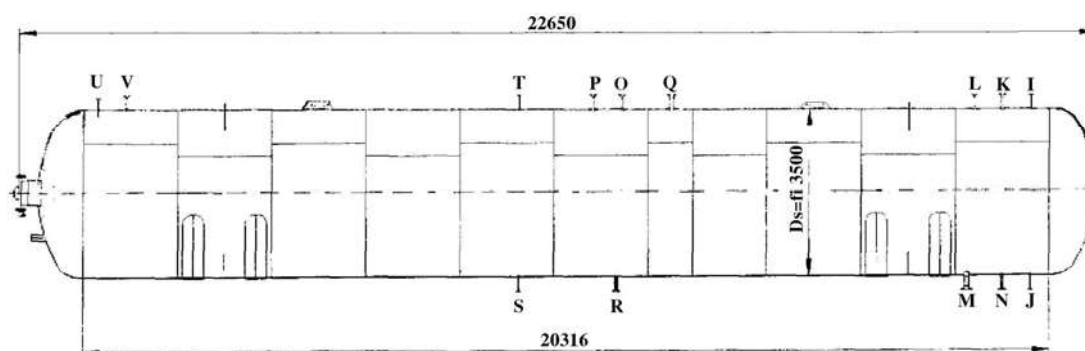
1. UVOD

Oprema pod pritiskom (OPP), sa specifičnostima u projektovanju, izradi, ispitivanju i zahtevima u pogledu bezbednosti mora da bude projektovana na osnovu svih relevantnih uticaja kako bi se obezbedilo da bude bezbedna tokom radnog veka. Dozvoljena naprezanja za OPP moraju biti ograničena mogućim greškama u radnim uslovima, kako bi se potpuno eliminisala neizvesnost koja nastaje od proizvodnje, modela proračuna, stvarnih radnih uslova i karakteristika i ponašanja materijala.

Osnovne preporuke za projektovanje, proračun i izradu noseće strukture rezervoara za TUD su sadržani: u pravilniku "Tehnički propisi i standardi za posude pod pritiskom za tečne atmosferske gasove i tečni ugljen-dioksid", tehničkim uslovima standarda /1,2/, materijalnim podlogama sadržanim u tehničkom opisu i mogućnostima i tehnološkoj opremljenosti proizvođača.

2. OPTEREĆENJA ZA PRORAČUN

Rezervoar zapremine 203 m³ za smeštaj tečnog ugljendioksida /3/ spada u grupu stabilnih posuda pod pritiskom, horizontalne izrade. Izgled rezervoara i dimenzije dati su na sl.1, a tehničke karakteristike u tab.1. Uzimajući opšte i lokacijske činioce rezervoar spada u klasu II (JUS M.E2.151) posuda pod pritiskom.

Slika 1. Rezervoar za tečni ugljen dioksid zapremine 203 m³

Za projektovanje OPP za TUD kvalitet materijala posude i priključaka je definisan zahtevima, a vezivanja elemenata strukture je propisano tehnologijom zavarivanja.

*** Adresa autora:**

mr Vujadin Aleksić, istraživač saradnik, dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, Zoran Anđelković, dipl.maš.inž.
GOŠA Institut, Milana Rakića 35, Beograd.
tel. 011/413-087, 011/2417-073
e-mail: razvoj@verat.net,
v_aleksic@hotmail.com.

Tabela 1. Tehničke karakteristike rezervoara za TUD

Najveći dozvoljeni radni pritisak	22 bara
Proračunski pritisak, JUS M.E2.250	22 bara
Ispitni pritisak	28.6 bara
Ispitna materija	voda
Temperatura ispitne materije	temperatura okoline
Maksimalna i minimalna temperatura zida	-30 ^{±3} °C
Radni medijum	neotrovan, nezapaljiv, neeksplozivan
Zapremina	203 m ³
Masa prazne posude	41300 kg
Najveća masa punjenja	207470 kg

Kao polazna osnova za određivanje merodavnih opterećenja služe norme koje se odnose na projektovanje, proračun i konstruisanje stabilnih posuda pod pritiskom za tečni ugljen dioksid, definisane standardom JUS M.E2.516, a koje za proračun čvrstoće i stabilnosti posuda za TUD, zavisno od vrste, namene i klase posude, uzimaju u obzir: mirna opterećenja stvorena unutrašnjim pritiskom, dinamička i udarna opterećenja zbog nagle promene pritiska, opterećenja stvorena statičkim pritiskom radne materije, sopstvenom masom posude i masom radne, odnosno ispitne materije, opterećenja izazvana priključnim cevovodima, radnom opremom i izolacijom, opterećenja izazvana vetrom, odnosno seizmičkim potresom, naprezanja izazvana temperaturnim poljima u materijalu, kao i lokalna naprezanja na mestima priključivanja, odnosno oslanjanja.

2.1. Analiza opterećenja kojima je rezervoar izložen u toku svog radnog veka

U svom radnom veku ovaj rezervoar je izložen većini napred navedenih opterećenja, ali su dominantna mirna opterećenja stvorena unutrašnjim pritiskom, opterećenja stvorena statičkim pritiskom radne materije, sopstvenom masom suda i masom radne, odnosno ispitne materije, i lokalna naprezanja na mestima priključivanja, odnosno oslanjanja, kao i opterećenje praznog rezervoara. u trenutku dizanja rezervoara sajlama preko uški u cilju nameštanja na transportno sredstvo i oslonce na mestu eksploatacije. Ostale vrste opterećenja, zbog svog retkog pojavljivanja i malog uticaja na čvrstoću i stabilnost rezervoara nisu uzete u obzir pri proračunu metodom konačnih elemenata.

2.2. Usvojena opterećenje za proračun metodom konačnih elemenata

Za mirno opterećenje unutrašnjim pritiskom, usvojen je ispitni pritisak od 2.86 MPa.

Za opterećenje statičkim pritiskom radne materije, usvojena je kontinualno raspoređena masa maksimalnog punjenja po čitavom rezervoaru od 207470 kg.

Za opterećenje sopstvenom masom posude i masom radne, odnosno ispitne materije, uz istovremeno dejstvo ispitnog pritiska, usvojeno je kontinualno raspoređena masa posude i masa maksimalnog punjenja po čitavom rezervoaru (41300+207470 = 248770 kg i 2.86 MPa).

Lokalna naprezanja na mestima priključaka i oslanjanja rezervoara, su uzeta u obzir realnom geometrijom modela rezervoara, što daje realnije rezultate nego da su ta mesta zamenjena ekvivalentnom debljinom lima, kao što je urađeno u radu /4/, tako da se u okolini svakog priključka i oslonaca za bilo koji slučaj opterećenja može videti raspodela napona i odrediti faktor koncentracije napona.

Za opterećenje izazvano dizanjem praznog rezervoara, usvajeno je opterećenje sopstvene mase rezervoara od 41300 kg.

2.3. Dozvoljene deformacije i naponi

Najveće dozvoljene deformacije, definisane zahtevom iz standarda JUS M.E2.200 da kod primenjenih opterećenja ne smiju postojati trajne deformacije, a u ovom slučaju definisane su izborom materijala za izradu rezervoara. Odabran je fino-zrni, normalizovani čelik, kvaliteta koji je: prema nemačkim normama definisan kao: "Feinkornbaustahle TStE355 Stoff. Nr. 1.0566 - DIN 17102 und DIN 17103" ili prema evropskim normama kao: "Fine grain steels P355NL2 - 1.0566 - EN 10028, Products made of steels for pressure proposes - Part 3: Weldable fine grain steels, normalized". Mehanička svojstva ovog čelika su data u tab. 2.

Tabela 2. Mehanička svojstva materijala TStE355 (P355NL2)

Modul elastičnosti	Poasonov koeficijent	Granica tečenja	Zatezna čvrstoća	Izduženje	Žilavost [J]	
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 sve ostalo u granicama elastičnosti i posle prestanka delovanja opterećenja usvaja se minimalni stepen sigurnosti za deformacije i napone $S=1.1$. Pa sledi:

$$\sigma_{\text{doz}} = R_{\text{eH}} / S = 414 / 1.1 = 376 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$l_{\text{doz}} = \sigma_{\text{doz}} l / E = 376 \cdot 2265 / 200000 = 4.26 \text{ cm} \quad (2)$$

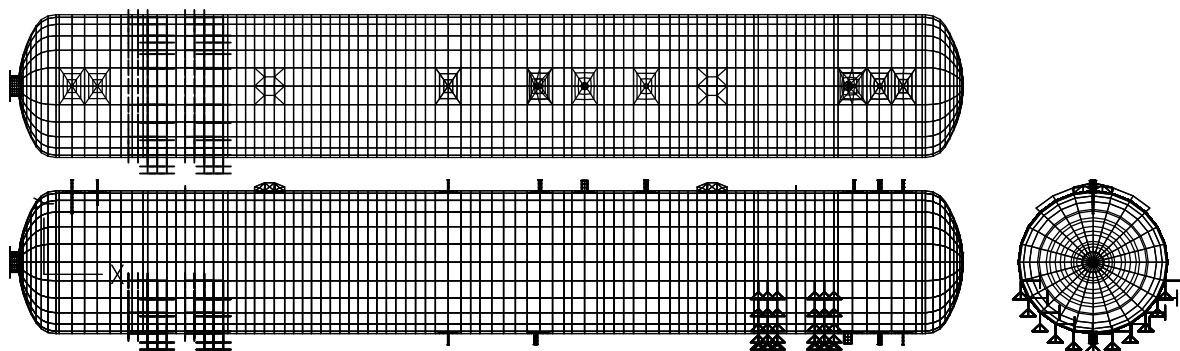
Vodeći računa o postavljenim zahtevima u pogledu opterećenosti strukture rezervoara urađen je proračun metodom konačnih elemenata (MKE).

3. MODEL NOSEĆE STRUKTURE REZERVOARA

Rezervoar se tretira kao prostorna struktura međusobno povezanih elemenata tipa ploče (četvorougane i trougaone) promenljivog poprečnog preseka. Celokupna noseća struktura je svedena na: srednju ravan omotača i prednjeg i zadnjeg dna. Realan geometrijski model je urađen za sve priključke, oslonce i uške sa realnim debljinama. Usvojeni model, sl. 2., ima 3866 čvora i 3952 elemenata tipa ploče. Globalni koordinatni sistem modela usvojen je tako da je koordinatni početak "O" u centralnoj osi rezervoara na početku revizionog otvora, osa "Ox" poklapa se sa centralnom osom rezervoara, osa "Oy" se prostire upravno na centralnu osu rezervoara u pravcu uški, a osa "Oz" se prostire upravno na prve dve ose, čineći sa njima trijedar.

Statički proračun strukture je baziran na standardu koji definiše opterećenja koja se moraju uzeti u obzir pri proračunu čvrstoće i stabilnosti posude.

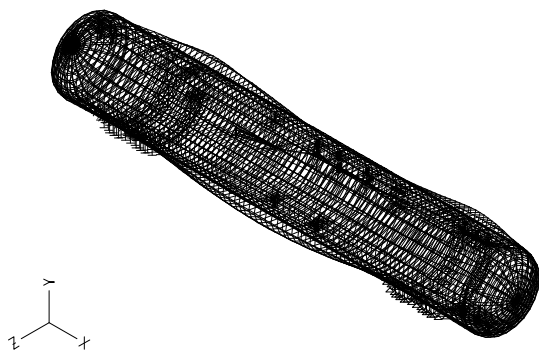
S obzirom da je rezervoar izložen i povremenim dinamičkim opterećenjima čije je delovanje kratko u odnosu na eksploatacioni vek rezervoara nije urađen poseban dinamički proračun strukture. Odgovarajući zaključci su izvedeni iz statičkog proračuna.



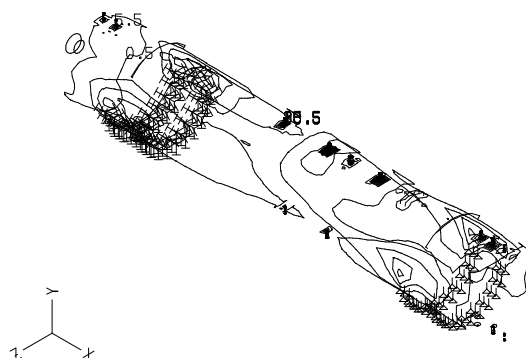
Slika 2 Usvojeni model rezervoara za proračun

4. REZULTATI PRORAČUNA

Proračunom se pokazalo da je najkritičniji slučaj opterećenja opterećenje sopstvenom masom posude i masom radne ili ispitne materije, uz istovremeno dejstvo ispitnog pritiska, pri čemu su ostvarena najveća pomeranja (deformacije) dna rezervoara, ali su u granicama dozvoljenih vrednosti. Pri tome su najveći naponi na mestima oslanjanja i u području priključaka S,T,O,P,Q,R, sl. 1, tj. priključaka koji se nalaze između oslonaca, zbog pojave dodatnog opterećenja izazvanog delujućim momentom savijanja i tu naponi prelaze granicu dozvoljenog napona. Na sl. 3 prikazana su pomeranja (deformacije), a na sl. 4 raspodela napona izazvana ovim slučajem opterećenja.



Slika 3. Deformacije za najkritičniji slučaj opterećenja



Slika 4. Naponi u elementima za najkritičniji slučaj opterećenja od 0 do 400 MPa sa korakom 5

4.1 Analiza stabilnosti elemenata noseće strukture

Elementi koji su izloženi pritisku ili smicanju treba da zadovolje uslove stabilnosti. Stabilnost elemenata plašta proverava se na delu plašta između uški, čija je dimenzija: $h = 2.0$ cm - debljina plašta, $a = 1041.6$ cm - dužina polja, $b = 90.5$ cm - širina polja. Kritični naponi se određuju prema izrazima:

$$\sigma_{kr} = K_{\sigma} \cdot E \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad \text{i} \quad \tau_{kr} = K_{\tau} \cdot E \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad (3)$$

Pri odnosu $b/a = 33.5/430.0 = 0.087$ koeficijenti konturnih uslova K_{σ} i K_{τ} za slučaj uklještenih ivica polja plašta iznose $K_{\sigma} = 3.8$ i $K_{\tau} = 8$, a kritični naponi:

$$\sigma_{kr} = 3.8 \cdot 200000 \cdot \left(\frac{2.0}{90.5}\right)^2 = 371.2 \cdot \text{MPa} \quad \text{i} \quad \tau_{kr} = 8 \cdot 200000 \cdot \left(\frac{2.0}{90.5}\right)^2 = 781.4 \cdot \text{MPa} \quad (4)$$

Kritični napon pritiska je nizak i kod ekstremnih opterećenja može se očekivati gubitak stabilnosti oplata u zonama priključaka, dok je kritični napon smicanja visok pa ne može doći do gubitka stabilnosti usled delovanja smicajnih napona.

5. ZAKLJUČAK

Proračun ima opšti karakter i ne bavi se lokalnim vezama, što pretpostavlja dobru vezu između delova plašta međusobno i vezu sa dancima, kao i vezu između priključaka, oslonaca i uški sa plaštom i dancima, tj. pretpostavlja se da su svi zavareni spojevi kvalitetno izvedeni, u skladu sa tehnologijom zavarivanja, kao i da je ostvarena dobra veza rezervoara za oslonce na mestu eksploatacije.

Na osnovu rezultata i analiza naponskog i deformacionog stanja, može se konstatovati da se deformacije nalaze u granicama dozvoljenih kod svih analiziranih slučajeva opterećenja, dok su naponi za kritične slučajeve opterećenja na mestima skoro svih priključaka iznad dozvoljenog, pa je neophodno njihovo ojačavanje u kritičnim zonama (ojačanje debljine 6 mm).

Za kritični napon pritiska kod ekstremnih opterećenja kao što je slučaj opterećenja sopstvenom masom posude i masom radne, odnosno ispitne materije, uz istovremeno dejstvo ispitnog pritiska, može se očekivati gubitak stabilnosti plašta u zonama priključaka, dok je kritični napon smicanja dovoljno visok da ne može doći do gubitka stabilnosti usled delovanja smicajnih napona.

U slučaj opterećenja izazvanog dizanjem praznog rezervoara plašt ne može izgubiti stabilnost, zbog viših kritičnih napona u odnosu na napone koji mogu izazvati nestabilnost.

Opšti zaključak je da metode proračuna moraju potvrditi zahteve po pitanju bezbednosti OPP. Zahtevi bezbednosti se pored proračuna mogu ispuniti I primenom odgovarajućih analiza I ispitivanjem parametara mehanike loma.

LITERATURA

- [1] *JUS Standardi i propisi vezani za proračun, izradu i eksploataciju posuda pod pritiskom,*
- [2] *Pressure Equipment Directive – PED – dokumenti 90/683/EEC i 93/465/EEC*
- [3] Projekat: *PRORAČUN REZERVOARA ZA TUD ZAPREMINE 203 m³, Br.pr.0202/I RP, Institut GOŠA, Beograd, 2002,*
- [4] V.Aleksić, M.Arsić: Modeliranje i metodološki pristup proračunu čvrstoće noseće strukture rezervoara za tečni ugljen dioksid (TUD), 29. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije sa međunarodnim učešćem, Beograd, 19-20.septembar, 2002.

CONTRIBUTION TO MODELLING AND CALCULATION OF PRESSURE EQUIPMENT BY FINITE ELEMENTS METHOD

Summary

This paper presents methodological approach to calculation of tank for liquid carbon dioxide storage by using of finite elements method, in accordance with methods that are defined by new and general approach to standardization and technical improvement of pressure equipment (Pressure Equipment Directive PE – documents 90/683/EEC and 93/465/EEC). Stability of tank structural elements has been verified, permissive stresses have been evaluated, based on analysis of obtained results. Improvements and optimizations of given structure have been suggested.