

# OPTIMIZACIJA PRI PROJEKTOVANJU OPREME POD PRITISKOM I NJENA PRIMENA TOKOM UPOTREBE OPREME POD PRITISKOM

## OPTIMISATION IN THE DESIGN OF PRESSURE EQUIPMENT AND ITS APPLICATION DURING THE USE OF PRESSURE EQUIPMENT

Milan PESEKI<sup>1</sup>,  
PED Inspect, Beograd

<https://doi.org/10.24094/ptk.023.135>

*Posude pod pritiskom predstavljaju važan deo procesne tehnike. Ukoliko je u pitanju proizvodnja, gotovo da svaki tehnološki proces sadrži opremu pod pritiskom. Oprema pod pritiskom, se takođe upotrebljava za skladištenje i transport materija koje se nalaze u čvrstom, tečnom ili gasovitom agregatnom stanju.*

*Uticao na zaštitu životne sredine i održivi razvoj, predstavlja važan aspekt koji utiče na projektovanje opreme pod pritiskom, usled ograničenih resursa koje dobijamo iz prirodne okoline.*

*Da bismo konstruisali i projektovali, pouzdanu i bezbednu opremu pod pritiskom, a pritom odredili njenu minimalnu upotrebljivu veličinu, potrebno je posedovati tehnička znanja koja su veoma obimna za razumevanje ove oblasti mašinstva i kojoj se treba posvetiti posebna pažnja pri njenom izučavanju.*

*Načini obeležavanja posuda pod pritiskom prema pravilnicima koji su važeći i harmonizovani sa direktivama evropske unije. Preporuka za dodatnim podacima, za obeležavanje posuda pod pritiskom.*

*Navođenje 14 proračunskih modela za projektovanje primenjene na dancima posuda pod pritiskom, sa mogućnošću vizuelnog upoređivanja između proračunskih modela i objavljenih tehničkih propisa.*

*Prikaz autorovog proračunskog modela za približno određivanje proračunske debljine cilindričnog omotača, za posude koje su izrađene.*

**Ključne reči:** *Posude pod pritiskom; Debljina zida omotača; Optimizacija; Tehnički propisi; Označavanje posuda pod pritiskom.*

*Pressure vessels are an important part of process engineering. When it comes to production, almost every technological process contains equipment under pressure. Pressurized equipment is also used for storage and transport of substances that are in solid, liquid or gaseous aggregate state.*

*The impact on environmental protection and sustainable development is an important aspect that affects the design of pressure equipment, due to the limited resources we get from the natural environment.*

*In order to construct and design reliable and safe pressure equipment, while determining its minimum usable size, it is necessary to possess technical knowledge that is very extensive to understand this field of mechanical engineering and which should be given special attention when studying it.*

*Ways of marking pressure vessels according to the rules that are in use and harmonized with the directives of the European Union. Recommendation for additional data for pressure vessel marking.*

*Listing of 14 design calculation models applied to Heads for Pressure Vessels, with the possibility of visual comparison between calculation models and published technical regulations.*

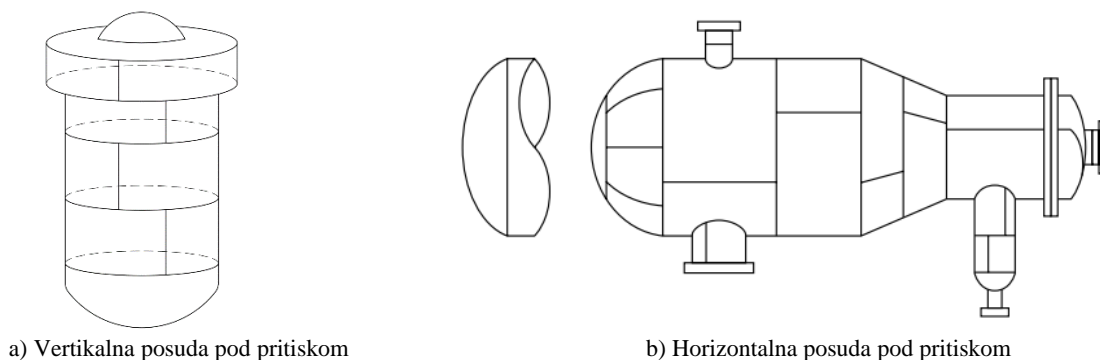
*Presentation of the author's calculation model for the approximate determination of the calculation thickness of the cylindrical shell, for vessels that have been made.*

**Key words:** *Pressure vessels; Shell wall thickness; Optimization; Technical regulations; Marking of pressure vessels.*

<sup>1</sup> Corresponding author, e-mail: milan.peseki@pedinspect.rs i milan87.peseki@gmail.com

## 1 Uvod

Primarni deo opreme pod pritiskom čine sve komponente opreme koje su opterećene unutrašnjim natpritiskom. Kada posmatramo posude pod pritiskom, one mogu imati jednostavniji geometrijski izgled (Slika 1.) ili složeni geometrijski izgled (Slika 2.). Pri svakom početnom definisanju oblika, neophodno je da se započne od jednostavnijeg geometrijskog izgleda. Iz tog razloga se češće susrećemo sa jednostavnijim geometrijskim modelima. Na slici 1.a) prikazana je vertikalna, a na slici 1 b) je prikazana horizontalna posuda pod pritiskom koja se često u literaturi prikazuje kao model za definisanje različitih tipova zavarenih spojeva.



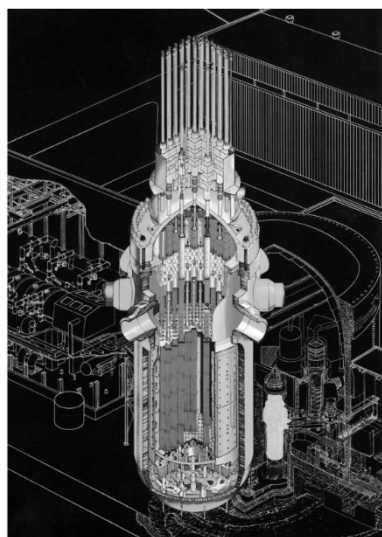
a) Vertikalna posuda pod pritiskom

b) Horizontalna posuda pod pritiskom

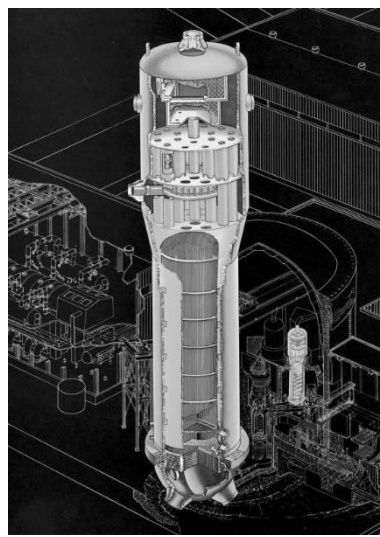
Slika 1. Osnovni izgled posuda pod pritiskom osnovne konstrukcije [3]

Posude pod pritiskom na slici 2 se ugrađuju u nuklearnim elektranama koje pripadaju drugoj generaciji, koje sadrže reaktor sa vodom pod pritiskom “Pressurized water reactor (PWR)”, zasniva se na principu dva odvojena rashladna kruga. Primarni rashladni krug reaktora i sekundarni rashladni krug generatora vodene pare. Sve tri posude se nalaze u velikoj zaštitnoj posudi “Containment Structure” koja je projektovana da primi pritisak koji bi nastao u slučaju pucanja cevovoda primarnog kruga, a opasnost je veća kod postrojenja sa četiri primarna rashladna kruga.

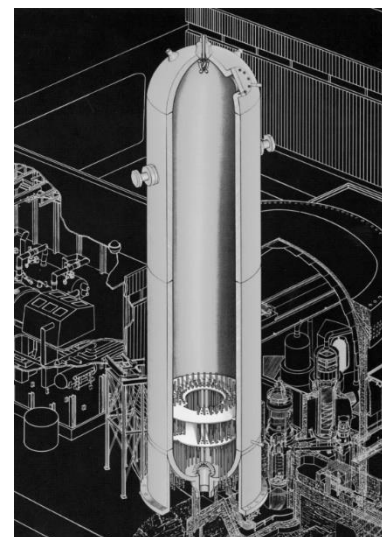
U ovom radu su istaknuti primeri posuda pod pritiskom složenog geometrijskog izgleda gde se može uočiti složenost same opreme koja se ugrađuje u proizvodne sisteme savremenih konstrukcija, gde se teži ka većoj efikasnosti tehnološkog procesa proizvodnje, kao i efikasnosti proizvodnje same opreme pod pritiskom. Ovo je samo jedan od razloga zašto se ovoj opremi treba posvetiti posebna pažnja pri izučavanju.



a) Reaktor sa vodom pod pritiskom „Pressurized water reactor (PWR)“. (Proizvođač: Westinghouse Electric Company, Pittsburgh, PA. – Sjedinjene Američke Države)

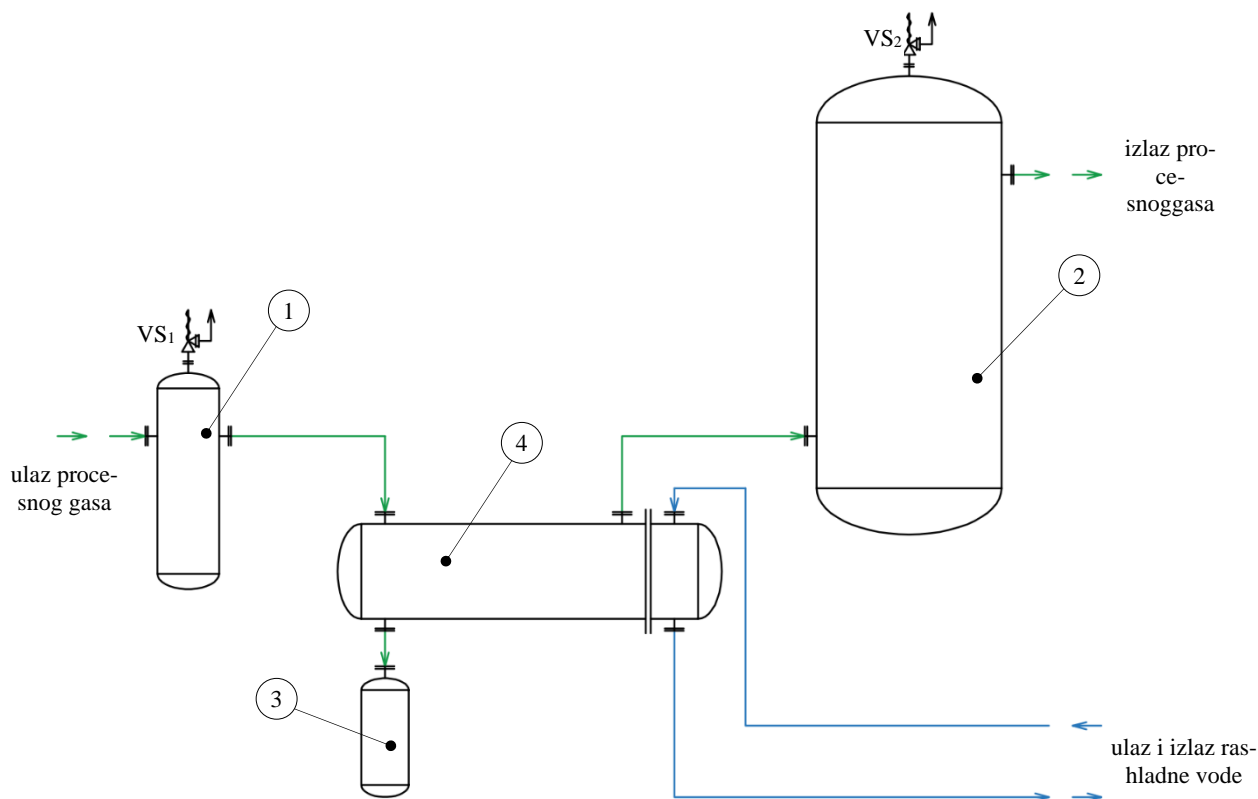


b) Generator vodene pare „steam generator“, posuda pod pritiskom koja povezuje dva rashladna kruga nuklearne elektrane.



c) Posuda pod pritiskom za regulaciju pritiska u primarnom rashladnom krugu “pressurizer”, ponaša se kao ekspanziona posuda, posuda za održavanje konstantnog pritiska.

Slika 2. Realističan prikaz posuda pod pritiskom složene konstrukcije [3]



Slika 3. Određivanje pritiska otvaranja ventila sigurnosti

Na slici 3 je prikazan deo tehnološke šeme gde se uočava način povezivanja opreme pod pritiskom u tehnološku celinu. Cevovodi obeleženi zelenom bojom predstavljaju procesni gas, a plavom bojom su obeleženi cevovodi rashladne vode. Nakon upotrebe u tehnološkom procesu, procesni gas se dovodi u primarnu posudu pod pritiskom br.1 a zatim se dovodi u kondenzator procesnog gasa br.4 u kom se vrši njegovo pothlađivanje i izdvajanje tečne faze koja se odvodi u posudu br.3, a gasna faza se odvodi u posudu za skladištenje br.4, za potrebe ponovne upotrebe procesnog gasa. Na prikazanoj slici za tako opisan tehnološki proces, potrebno je odrediti pritisak otvaranja ventila sigurnosti. Prva analiza, posude pod pritiskom koje su obeležene na slici brojevima 1, 2 i 3 imaju iste maksimalno dozvoljene radne pritiske od 7 bar-a. To nam ukazuje da pritisak otvaranja ventila sigurnosti koji su obeleženi na slici VS<sub>1</sub> i VS<sub>2</sub>, budu podešeni prema referentnom pritisku od 7 bar-a. Međutim, pri drugoj analizi datog sistema uočavaju se tehnički podaci ugrađene opreme pod pritiskom, kondenzatora procesnog gasa br.4 koja sadrži dva radna prostora, sa maksimalno dozvoljenim radnim pritiscima od 5 bar-a za procesni gas i 4 bar-a za rashladnu vodu. Shodno navedenom, ventili sigurnosti koji štite sistem posuda pod pritiskom, koji sadrži procesni gas za referentan pritisak otvaranja mora se uzeti 5 bar-a. U ovakvim slučajevima grešku je lako napraviti ako se ne analizira ceo tehnološki sistem. Ako se analizira pojedinačno svaki postavljeni ventil sigurnosti prema posudi pod pritiskom, svakako bi zadovoljio uslov podešavanja pritiska otvaranja ventila sigurnosti, dok kondenzator procesnog gasa ne sadrži uređaj za sprečavanje povećanog radnog pritiska i parcijalno posmatrano bilo bi sve u redu. Takođe ovde se otvara pitanje optimizacije opreme pod pritiskom pri projektovanju. Da li su posude pod pritiskom optimalno projektovane? Pojedinačno posmatrano jesu, ali u opisanom tehnološkom sistemu svakako nisu.

## 2 Posude pod pritiskom i njihovo obeležavanje

### 2.1 Opšte o propisima i njihova primena

Posude pod pritiskom predstavljaju specifičnu vrstu proizvoda iz razloga što one moraju da budu unapred definisane sa svojim tehničkim karakteristikama pre proizvodnje, prema zahtevima naručioca. Svaka oprema pod pritiskom koja je proizvedena mora zadovoljavati zahtevane tehničke

karakteristike proizvoda. Prema Zakonu o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti [8] Tehničke karakteristike proizvoda drugačije nazivamo tehničke specifikacije proizvoda, to je dokumenat kojim se utvrđuju tehnički zahtevi koje treba da ispuni proizvod, proces ili usluga, odnosno tehnička specifikacija je dokument kojim su propisani tehnički zahtevi koje oprema pod pritiskom ili sklopovi moraju da ispune.

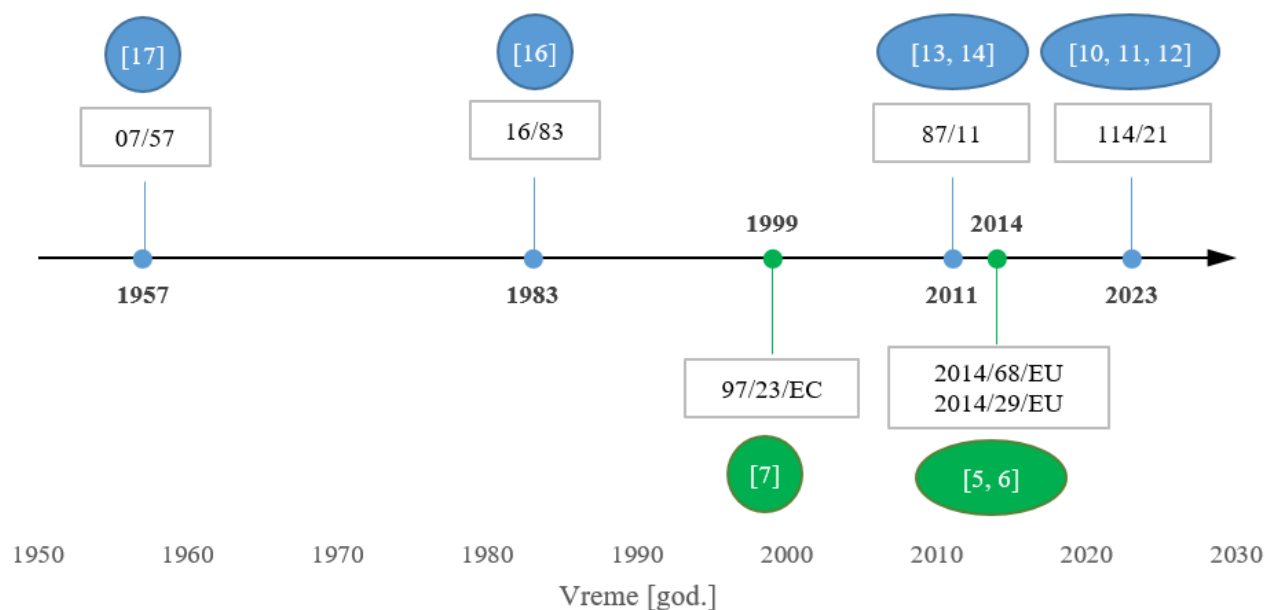
Zakonom o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti uređuje se način propisivanja tehničkih zahteva za proizvode, način ocenjivanja usaglašenosti proizvoda sa zahtevima tehničkih propisa, obaveze isporučilaca i vlasnika proizvoda, pretpostavka usaglašenosti, zaštitna klauzula i klauzula o jedinstvenom tržištu, važenje inostranih isprava o usaglašenosti, obaveštenje o tehničkim propisima i postupcima ocenjivanja usaglašenosti, opšti zahtevi za imenovanje i obaveze imenovanih tela, notifikacija tela za ocenjivanje usaglašenosti i tehničkih propisa, vođenje registra i vršenje nadzora nad sprovođenjem ovog zakona i propisa donetih na osnovu tog zakona.

Propisivanje tehničkih zahteva za proizvode se vrši tehničkim propisom koji predstavlja svaki propis kojim se za proizvod, odnosno grupe proizvoda, uređuje najmanje jedan od sledećih elemenata: tehnički zahtevi koje mora da ispunjava proizvod koji se isporučuje na tržištu, odnosno stavlja u upotrebu (u daljem tekstu: tehnički zahtevi), tehnička dokumentacija, postupci ocenjivanja usaglašenosti i drugi postupci koje sprovodi isporučilac u cilju ispunjavanja zahteva tehničkog propisa, oznake i način označavanja proizvoda, zahtevi u pogledu pakovanja i obeležavanja i druge elemente propisane u članu 4. Zakona o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti.

U Republici Srbiji poslednje tehničke propise za opremu pod pritiskom je doneo ministar rudarstva i energetike na osnovu člana 5. Zakona o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti [8]. Prvi pravilnik je Pravilnik o opremi pod pritiskom [10] koji je usklađen sa Direktivom 2014/68/EU Evropskog parlamenta i Saveta od 15. maja 2014. godine o usaglašavanju propisa država članica o satvljanju na tržište opreme pod pritiskom. Drugi pravilnik je Pravilnik o jednostavnim posudama pod pritiskom [11] koji je usklađen sa Direktivom 2014/29/EU Evropskog parlamenta i Saveta od 26. februara 2014. godine o stavljanju na tržište jednostavnih posuda pod pritiskom. Ovim pravilnicima se propisuju tehnički zahtevi koji se odnose na projektovanje, izradu, ocenjivanje usaglašenosti, označavanje i zahteve koje mora da ispuni imenovano telo ili drugo za ocenjivanje usaglašenosti. I treći pravilnik je Pravilnik o pregeldima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe [12] koji su stupili na snagu.

Upotrebom Pravilnika o pregeldima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe [12], dolazi se do rešenja problema koji je naveden pri opisu slike 3. gde se primenjuju članovi 25. ili 26. Član 25. Pregled pre ponovnog puštanja u rad, predstavlja izmenjen i dopunjen član 17. prema prethodnom pravilniku, odnosno Pravilniku o pregeldima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe [14]. Dok član 26. Prenamena opreme pod pritiskom, predstavlja dopunu prethodnog pravilnika. Prenamena opreme pod pritiskom obavlja se kod lica koje je vlasnik/korisnik ili proizvodi tu vrstu opreme pod pritiskom pod nadzorom imenovanog tela za ocenjivanje usaglašenosti, koje je imenovano za tu vrstu opreme pod pritiskom, postavlja se nova natpisna pločica na opremu pod pritiskom, izrađuje tehnička dokumentacija na osnovu novih projektnih karakteristika, odnosno parametara opreme pod pritiskom na osnovu kojih se sprovodi razvrstavanje opreme pod pritiskom i vrše potrebni pregledi i ispitivanja. Ili u drugom slučaju izvodio bi se Pregled pre ponovnog puštanja u rad opreme pod pritiskom, koji se sprovodi kad oprema nije radila duže od godinu dana nakon rekonstrukcije i sanacije ili u sličaju preseljenja na drugu lokaciju, kao i kada je oprema pod pritiskom bila stavljena privremeno van upotrebe. Ukoliko je obim izmena na opremi pod pritiskom takav da utiče na moguće neispunjavanje bitnih zahteva za bezbednost radovi na opremi moraju biti pod nadzorom imenovanog tela za ocenjivanje usaglašenosti, koje mora da odobri projekat sanacije/ rekonstrukcije, kontroliše izradu delova, izvođenje sanacije/rekonstrukcije, sprovodi završno ocenjivanje i izdaje izveštaj o kontrolisanju.

Ovakva pojašnjenja tehničkih propisa su značajna kompanijama odnosno fizičkim i pravnim licima koji su vlasnici/korisnici opreme pod pritiskom, radi njihovog boljeg sagledavanja i definisanja zahteva koji upućuju imenovanim telima.



Slika 4. Grafički prikaz početka primene pravilnika i evropske direktive za opremu pod pritiskom

Na slici 4 je predstavljen uporedni grafički prikaz pravilnika o opremi pod pritiskom, koji se primenjuju od 28. februara 1957. godine. Poređenja radi, godinu dana pre objavljivanja našeg pravilnika iz 1957. godine u Sjedinjenim Američkim Državama je napravljen prvi reaktor sa vodom pod pritiskom za potrebe komercijalne nuklearne elektrane koji je prikazan na slici 2.a). Tadašnja Federativna Narodna Republika Jugoslavija (FNJR, od 29. novembra 1945. do 7. aprila 1963) je uredila propise za opremu pod pritiskom koja se odnosi na izradu i upotrebu parnih kotlova, parnih sudova, pregrejača pare i zagrejača vode. Zanimljivo je, da je ostala ista granica unutrašnjeg natpritisaka na koju se odredbe propisa ne odnose, od navedenog pravilnika [17] do pripisa koji su i danas u primeni, da unutrašnji natpritisak ne prelazi 0,5 bar-a. Takođe je zanimljivo i to da je tada bila izvršena podela u pogledu veličine parnih kotlova na male, srednje i velike. Gde su poredbene karakteristike bile: 1) sadržina vode pri punjenju do linije najnižeg vodostaja sa granicama od 1 i 1,5 m<sup>3</sup>, 2) radni pritisak nije veći od 6 i 12 bar-a, 3) unutrašnji prečnik nije veći od 1200 i 1300 mm, pri čemu veliki parni kotlovi su prelazili više vrednosti koje su navedene.

## 2.2 Obeležavanje posuda pod pritiskom

Svaka posuda pod pritiskom mora da ispunjava bitne zahteve za bezbednost koja su propisana i primenjuju se samo ako postoji odgovarajuća opasnost od opreme pod pritiskom kada se ona koristi pod uslovima koje je predvideo proizvođač. Proizvođač mora da analizira opasnosti, da bi odredio one opasnosti od pritiska koje se odnose na njegovu opremu pod pritiskom. Pri projektovanju i izradi, analiza opasnosti se mora uzeti u obzir. Bitni zahtevi za bezbednost moraju da se tumače i primene tako što se uzima u obzir najsavremenija i važeća dobra praksa u vreme projektovanja i izrade, kao i tehničke i ekonomske činjenice koje su u skladu sa visokim stepenom zaštite zdravlja i opšte bezbednosti.

Ukoliko se posmatraju sve posude pod pritiskom koje su ugrađene na teritoriji Republike Srbije, ukupna bezbednost opreme pod pritiskom čini značajan deo energetske bezbednosti koja predstavlja važnu komponentu stabilnosti energetskog sistema. U tom smislu se vrši i procena ukupne starosti posuda pod pritiskom, odnosno životnog ciklusa posuda pod pritiskom. Kao i kompletne opreme pod pritiskom u širem smislu, koja se takođe mora sa akademskim pristupom dobro sagledati.

Posude pod pritiskom se proizvode pojedinačno ili serijskom proizvodnjom. U oba načina proizvodnje, posude pod pritiskom moraju biti propisno obeležene zbog njene identifikacije. Minimalno potrebni podaci koji su potrebni za identifikaciju posude pod pritiskom, moraju biti obeleženi na uočljivom mestu gde su postavljene na posudi, kako bi se iz tih informacija moglo pristupiti kompletnoj tehničkoj dokumentaciji. Primenom pravilnika [10] oznake i natpisi kojima su obavezno

označeni proizvodi su: 1) godina proizvodnje, 2) identifikacija opreme pod pritiskom prema karakteristikama, kao što je tip, identifikacija serije ili partije i serijski broj ili fabrički broj, 3) bitne najveće i najmanje dozvoljene radne parametre, 4) zapervina ( $V$ ) opreme pod pritiskom izražena u litrama ( $l$ ), 5) ispitni pritisak ( $PT$ ) izražen u bar-ima ( $bar$ ) i datum ispitivanja pritiskom. 6) osnovna namena, odnosno naziv posude pod pritiskom, 7) naziv i grupa fluida koji sadrži posuda pod pritiskom, 8) masa prazne posude pod pritiskom izražena u kilogramima ( $kg$ ), 9) najveća masa pumenja posude izražena u kilogramima ( $kg$ ), 10) koeficijent punjenja izražena u kilogramima po litru ( $kg/l$ ), 11) kod primera razmenjivača toplote, odnosno razmenjivače toplotne snage posuda pod pritiskom, obeležava se snaga opreme pod pritiskom izražena u kilovatima ( $kW$ ), na primeru kod upotrebe električnih grejača i napojni napon izražen u voltima ( $V$ ). Ukoliko su u pitanju cevovodi umesto podatka o zapremini navodi se podatak o nazivnom prečniku cevovoda ( $DN$ ), a ukoliko su u pitanju sigurnosni uređaji potrebno je navesti podatak o podešenom pritisku otvaranja sigurnosnog uređaja koji je izražen u bar-ima ( $bar$ ).

Osim navedenih podataka mora se obeležiti znak usaglašenosti prema članu 19. i sa definisanim oblikom propisanim u prilogu V navedenim u Pravilniku o opremi pod pritiskom [10] ili ako se primenjuje Pravilnik o jednostavnim posudama pod pritiskom [11], označavanje usaglašenosti član 16. i sa definisanim oblikom propisanim u prilogu V. Potrebno je istaći da se znak usaglašenosti ne obeležava ukoliko je oprema pod pritiskom i/ili sklopovi kod kojih su radni uslovi niži ili jednaki vrednostima iz člana 5. tehnički zahtevi stava 1. i 2., prema Pravilniku o opremi pod pritiskom [10].

Dodatno označavanje, pored propisanog načina označavanja posuda pod pritiskom može biti od važnosti za identifikaciju posuda pod pritiskom. Dodatne oznake na natpisnim pločicama mogu biti: 1) debljina zida osnovnih materijala (cilindričnog omotača, danca) od kojih je izrađena posuda pod pritiskom, 2) oznaka osnovnih materijala, 3) predviđeno vreme upotrebe posude pod pritiskom određene pri projektovanju posude pod pritiskom izraženo na godišnjem nivou, 4) upozorenje na opremi pod pritiskom kojim se skreće pažnja na nepravilnu upotrebu koja je poznata iz prakse.

Autorov predlog za poboljšanje načina dodatnog obeležavanja opreme pod pritiskom koje bi ukazivalo na razliku opreme pod pritiskom visokog i niskog nivoa opasnosti. Nakon sprovedenog postupka razvrstavanja opreme pod pritiskom prema pravilniku [12] izdaje se izveštaj o razvrstavanju opreme pod pritiskom, nakon toga bi se postavila oznaka na opremu pod pritiskom, koja može biti u vidu nalepnice sa određenim grafičkim znakom obaveštenja da je u pitanju oprema pod pritiskom visokog ili niskog nivoa opasnosti. Oznaka za opremu visokog nivoa opasnosti bi sadržila broj evidencionog lista kako bi se mogla izvršiti identifikacija i jasnije uočila oprema pod pritiskom koja je zavedena u centralni registar opreme pod pritiskom ministarstva energetike. Grafički simboli za takvo obeležavanje bi bili uređeni po uzoru na Pravilnik o klasifikaciji, pakovanju, obeležavanju i oglašavanju hemikalije i određenog proizvoda u skladu sa Globalno harmonizovanim sistemom za klasifikaciju i obeležavanje UN („Službe-ni glasnik RS”, br. 105/13, 52/17 i 21/19).

Označavanje opreme pod pritiskom vrši proizvođač opreme pod pritiskom. Postoje slučajevi u kojima se obaveze proizvođača primenjuju na uvoznika i distributera, kada se smatraju proizvođačem, u smislu pravilnika [10] član 11. podležu zahtevima proizvođača kada opremu pod pritiskom ili sklop stavljaju na tržište pod svojim ili trgovačkim znakom ili kada izmeni opremu pod pritiskom ili sklop koji su već stavljeni na tržište na takav način da to može da utiče na usaglašenost sa zahtevima ovog pravilnika. Važno je istaći da prema Pravilniku o opremi pod pritiskom [10], članu 6. slobodan promet, stav 2., kada je oprema ili sklop pod pritiskom namenjen korišćenju u Republici Srbiji oznake i uputstva koja su neophodna za bezbednu i pravilnu upotrebu opreme pod pritiskom a to su oznake i natpisi, kao i uputstva za rad moraju biti na srpskom jeziku.

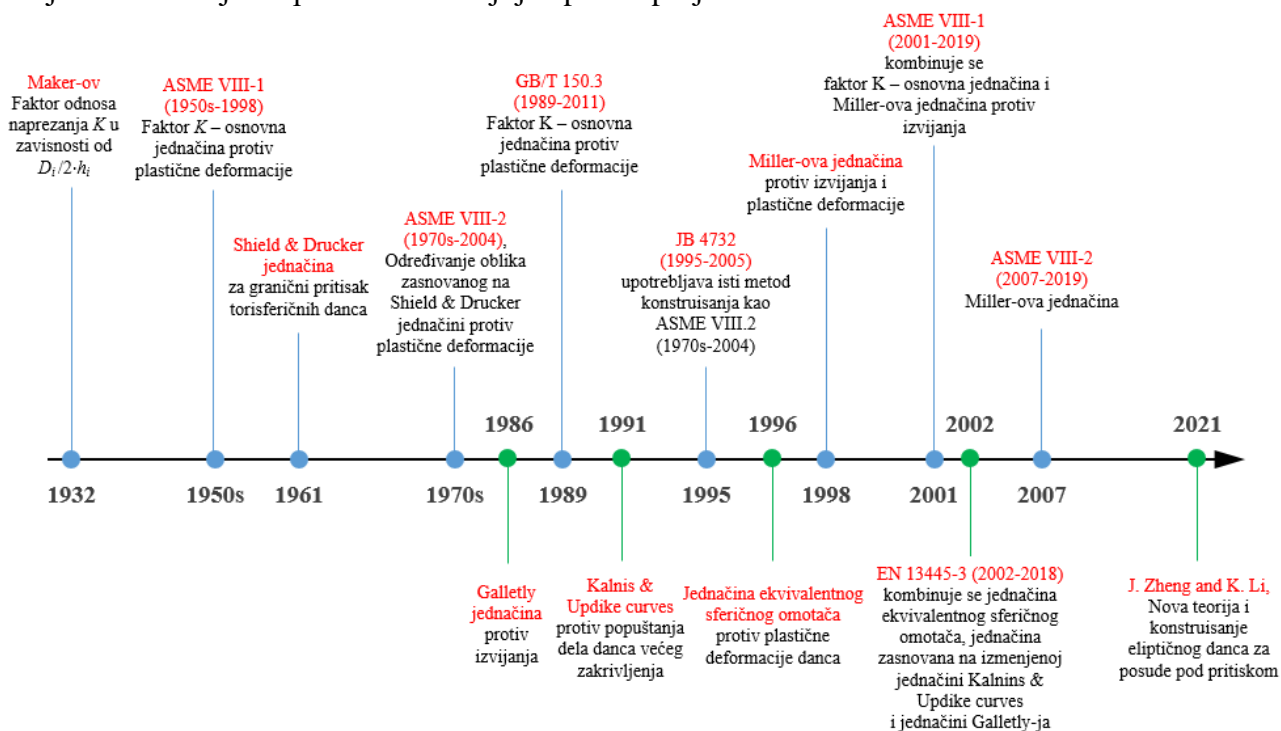
U čestim opravdanim slučajevima kada se moraju zameniti natpisne pločice opreme pod pritiskom u uslovima transporta, skladištenja, ugradnje ili premeštanja na drugu lokaciju, kao i kada je u upotrebi dugi niz godina, može doći do oštećenja. U tim slučajevima postupak za zamenu se opisuje u članu 5. stav 7. koji glasi: U slučaju kada se projektne karakteristike ne mogu očitati sa natpisne pločice, odnosno kada je natpisna pločica potpuno ili delimično uništena može se na osnovu projektnih karakteristika iz tehničke dokumentacije opreme pod pritiskom postaviti nova natpisna pločica sa projektnim karakteristikama. Postavljanje nove natpisne pločice na opremi pod pritiskom



postavlja se pod nadzorom imenovanog tela za ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom, o čemu se sastavlja odgovarajući izveštaj o kontrolisanju čitavog postupka. Na ovaj način oprema pod pritiskom koja nije proizvedena u Republici Srbiji, a uvozom je došla na naše tržište, može se propisno zameniti natpisna pločica i prilagoditi srpskom jeziku ili biti višejezičnog sadržaja.

### 3 Razvoj metoda konstruisanja posuda pod pritiskom primenjene na eliptičnim dancima

Eliptična danca se koriste kao završni zatvarači posuda pod pritiskom zbog njihovog dobrog primanja opterećenja i lakoće izrade. Tehnologija izrade omogućava da se proizvode do prečnika od 43 m i veoma tanka eliptična danca sa odnosom prečnika i debljine do 1000. Prema konstrukcionom pogledu, prečnik danca određuje prečnik cilindričnog omotača. Razvojem tehnologije izrade danca značajno se uticalo na mogućnost izrade opreme pod pritiskom većih radnih zapremina<sup>2</sup>, kao i povećanja najvećih dozvoljenih pritisaka<sup>3</sup> za koji je oprema projektovana.



Slika 5. Grafički prikaz metoda konstruisanja primenjene na eliptičnim dancima [2]

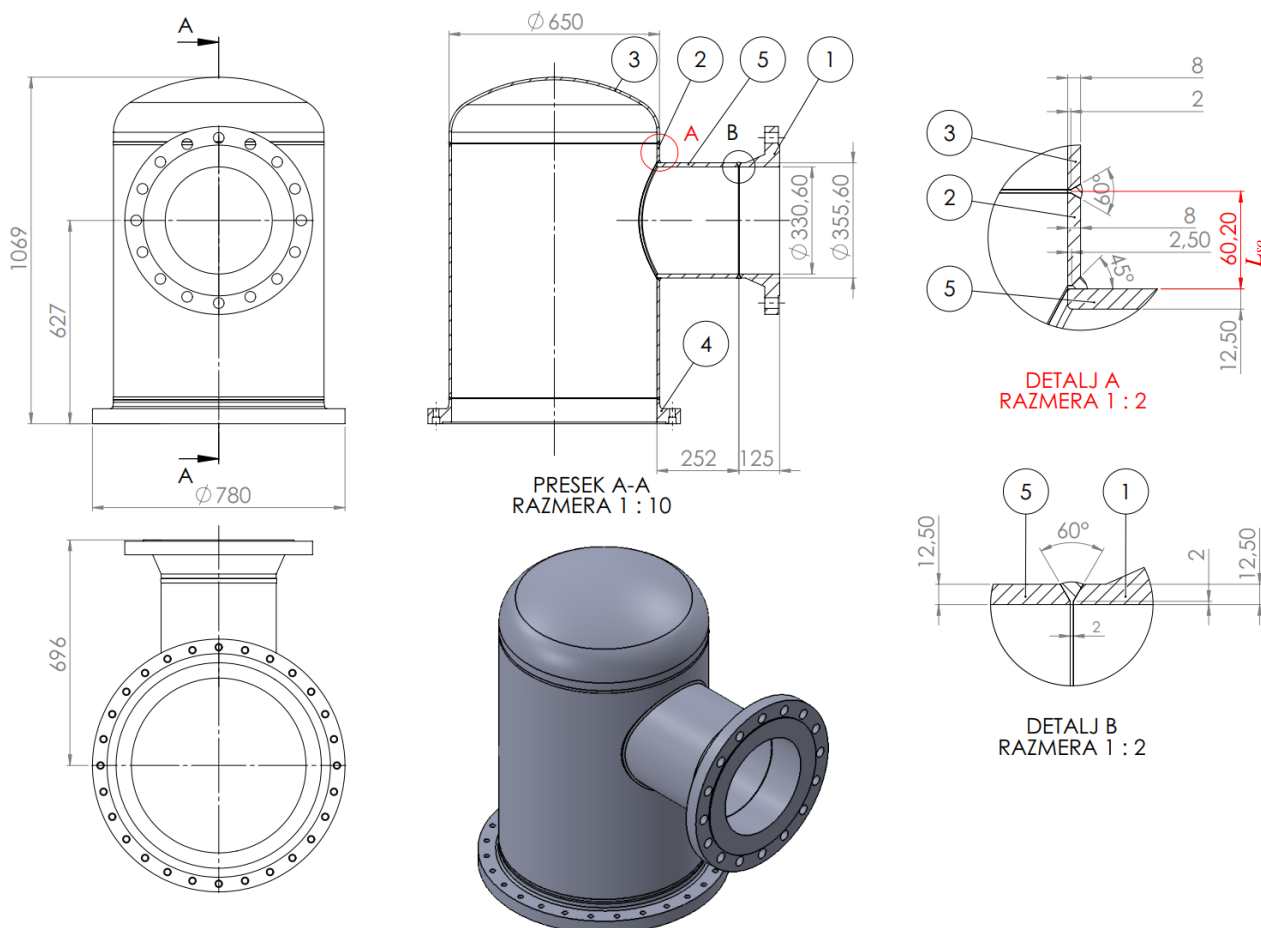
Na slici 5 prikazan je takođe uporedni grafički prikaz, koji nam omogućava da se jasnije vizuelno sagleda hronološki način usavršavanja proračunskih modela, koje su značajno uticale na razvoj posuda pod pritiskom tokom godina proizvodnje i upotrebe. Analiza navedenih metoda nije obuhvaćena i predviđena ovim radom zbog same složenosti navedenih proračunskih metoda.

### 4 Određivanje približne vrednosti minimalne debljine zida cilindričnog omotača

Na slici 6, prikazana je gornja komora koja predstavlja sastavni deo posude pod pritiskom. Komora se sastoji od pet delova koji su opterećeni unutrašnjim natpritisakom. Cilindrični omotač (pozicija 2), torisferično dance (poz. 3), prirubnica sa grlom (poz. 4), cilindrični omotač priključka (poz. 5) i prirubnica sa grlom (poz. 1). Navedene pozicije su obeležene na slici poprečnog preseka A-A, gde se uočavaju dva detalja koja su obeležena slovnim oznakama A i B.

<sup>2</sup> Zapremina (V) – unutrašnja zapremina komore, uključujući i zapreminu priključka do prvih spojeva ili zavarenih spojeva, a bez zapremine stalnih unutrašnjih delova.

<sup>3</sup> Najveći dozvoljeni pritisak (PS) – najveći dozvoljeni pritisak za koji je oprema projektovana i koji je utvrdio proizvođač; ovaj pritisak se utvrđuje za određeno merno mesto na opremi, koje odredi proizvođač; mesto mora biti u blizini uređaja za zaštitu ili ograničenje ili na najvišoj tački na opremi, ili ako je to moguće, na drugom mestu koji je odredio proizvođač.



Slika 6. Komora gornja, posude pod pritiskom

Detalj A: Dva zavarena spoja, prvi je sučeoni zavareni spoj koji spaja cilindrični omotač (poz. 2) i torisferično dance (poz. 3), drugi je ugaoni zavareni spoj koji spaja cilindrični omotač (poz. 2) i cilindrični omotač priključka (poz. 5).

Detalj B: Sučeoni zavareni spoj priрубnice sa grlom (poz. 1) i cilindričnog omotača priključka (poz. 5).

Na detalju A uočava se rastojanje između dva zavarena spoja ( $L_{so}$ ) iznosi 60.20 mm, čija je kota obeležena crvenom bojom. Ukoliko je ova vrednost pri konstruisanju određena primenom standarda 13445-3 [18] može se uspostaviti veza između ove dimenzije i spoljašnjeg prečnika cilindričnog omotača koja iznosi 650 mm, da bi se odredila približna vrednost minimalne debljine zida koja je određena pri projektovanju cilindričnog omotača. Minimalna debljina zida koja je određena pri projektovanju cilindričnog omotača mora biti manja od usvojene debljine zida cilindričnog omotača ( $e_{c,a}$ ) koja iznosi 8 mm (poz. 2).

$$L_{so} = \sqrt{(2 \cdot r_{is} + e_{c,s}) \cdot e_{c,s}} \quad (1)$$

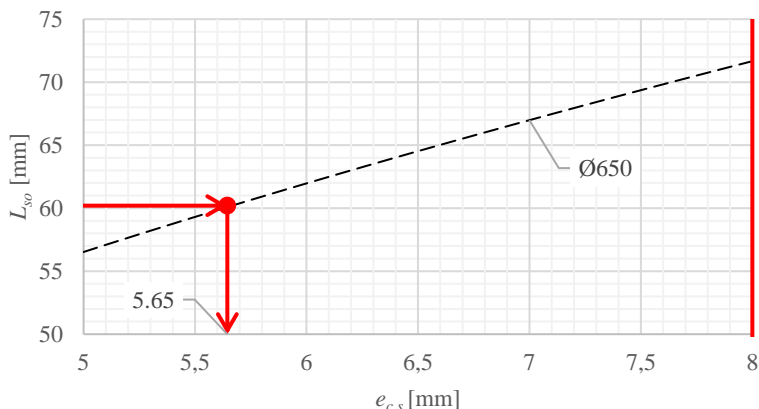
Upotrebom prikazane jednačine (1) za cilindrični omotač spoljašnjeg prečnika 650 mm napravljen je grafički prikaz koji je predstavljen na slici 7. Gde je na ordinati prikazana vrednost rastojanja između dva zavarena spoja  $L_{so}$  sa intervalom od 50 do 75 mm, a na apscisi približna vrednost minimalne debljine zida cilindričnog omotača  $e_{c,s}$  sa intervalom od 5 do 8 mm, pri čemu granica od 8 mm je obeležena linijom crvene boje kako bi se istakla vrednost debljine zida materijala koji je ugrađen. Takođe ova vrednost je upotrebljena i za određivanje linije prečnika omotača radi preciznijeg očitavanja vrednosti debljine zida cilindričnog omotača. Da bismo odredili približnu proračunsku vrednost minimalne debljine zida cilindričnog omotača, koja mora biti manja od ugrađene debljine zida, posmatra se isprekidana linija obeležena crnom bojom koja predstavlja vrednost prečnika cilindričnog omotača od 650 mm. Merenjem i očitavanjem vrednosti  $L_{so}$  unosi se



podatak na dijagram da bi se odredila presečna tačka na isprekidanoj liniji, a zatim na apscisi očitala vrednost 5,65 mm. Za ovaj slučaj i na ovaj način, u praksi dovoljno pomaže da se približno odredi da je vrednost u granicama od 5,5 do 6 mm, prikazano je u jednačinama (2) i (3).

$$e \leq e_{c,s} \leq e_{c,a} \quad (2)$$

$$e \leq 5,5 \div 6 \leq 8 \quad (3)$$



Slika 7. Dijagram za približno očitavanje minimalne debljine zida omotača

Da bi se u praksi mogao primeniti ovakav način kontrolisanja, na slici 8. je prikazana prilagođena slika 7. sa većim intervalima vrednosti na ordinati i apscisi, radi primemne za veći broj različitih prečnika omotača. Na ordinati interval je od 30 do 140 mm, a na apscisi interval je od 5 do 20 mm, dok je obeležen veći broj linija koje predstavljaju različite prečnike cilindričnih omotača i one obuhvataju prečnike od 200 do 1000 mm. Za prikaz linija je upotrebljena jednačina (4) koja predstavlja izmenjenu jednačinu (1), gde je za definisanje srednjeg prečnika cilindričnog omotača usvojena srednja vrednost najniže i najviše vrednosti debljine zida cilindričnog omotača, koja se dobija prema usvojenom intervalu apscise prikazane na dijagramu. Vertikalna linija obeležena crvenom bojom predstavlja vrednost debljine zida iz navedenog primera sa slike 7. kako bi se moglo jasnije uvideti razlika između dijagrama koji su prikazani na slikama 7 i 8.

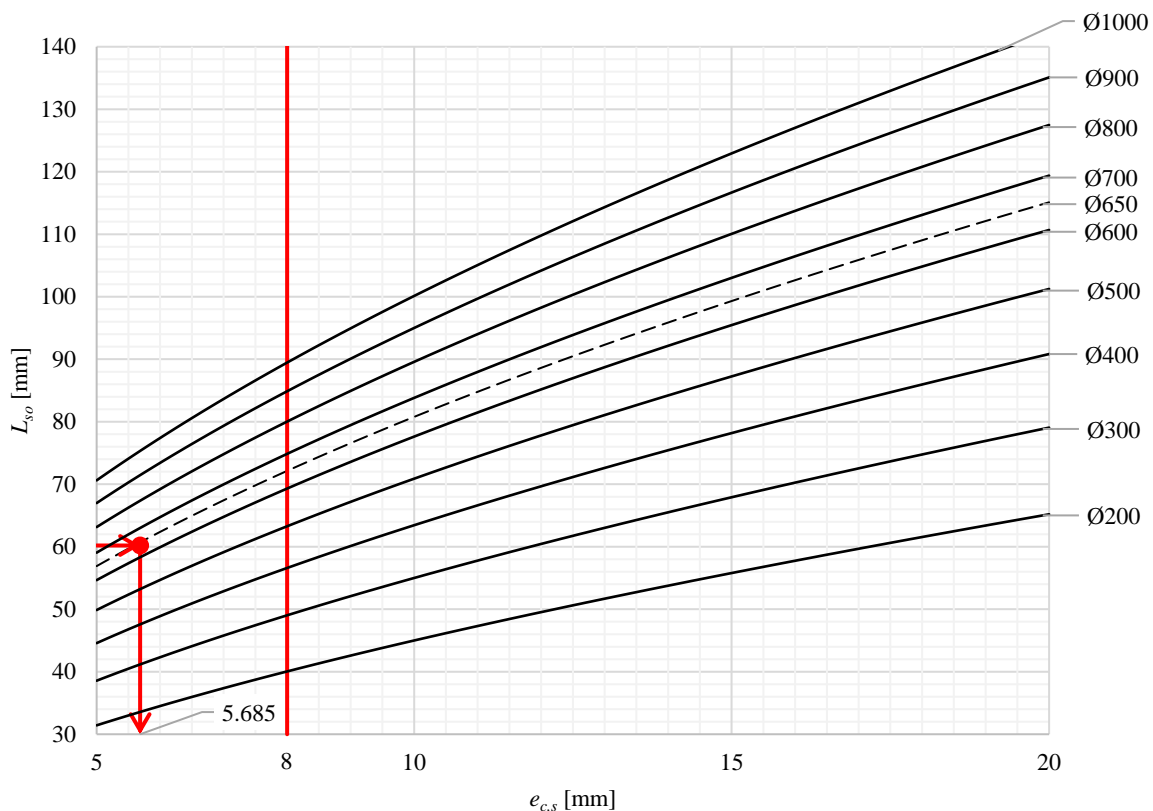
$$L_{so} = \sqrt{(D_s - C_e) \cdot e_{c,s}} \quad (4)$$

$$C_e = \frac{e_{c,s,max} + e_{c,s,min}}{2} \quad (5)$$

Sada se dijagramom može vršiti očitavanje vrednosti velikog broja različitih tipova posuda pod pritiskom, na primer rezervoara za komprimovan vazduh koji se često upotrebljavaju u proizvodnim halama automobilske industrije, tekstilne industrije, itd., razdelnicima i sabirnicima vodene pare koji se često nalaze u toplotnim podstanicama, itd.

Kada se vrši merenje debljine zida cilindričnog omotača ultrazvučnom metodom, ovakav način za upoređivanje očitanih vrednosti može biti od velike pomoći dok se proveru i dobije tačna proračunska vrednost, koja je određena i nalazi se u tehničkoj dokumentaciji posude pod pritiskom.

Usvojene su pretpostavke: 1) pri određivanju linije prečnika cilindričnog omotača koristi se spoljašnji prečnik, a ne unutrašnji poluprečnik jer nisu definisane debljine zida cilindričnih omotača koje želimo da odredimo, 2) pretpostavljena je debljina zida cilindričnih omotača od 12,5 mm upotrebom jednačine (5) prema dijagramu slika 8. kako bi se mogle nacrtati linije prečnika cilindričnih omotača.



Slika 8. Dijagram za približno očitavanje minimalne debljine zida omotača (za debljine zida omotača od 5 do 20 mm i prečnike omotača od 200 do 1000 mm)

Funkcionalnost ove metode potvrđuje i to da greška pri formiranju linije prečnika, kao i ulazna veličina  $L_{so}$  ne utiče značajno na vrednost očitavanja približne debljine zida cilindričnog omotača sa dijagrama čija greška je manja od 1% na prikazanom primeru. Treba imati u vidu da postoji greška pri merenju ultrazvučnom metodom za merenje debljine zida materijala izazvana izborom sonde, kalibracije uređaja, greške pri merenju. Ukupna greška pri merenju ultrazvučnom metodom ako je veća od greške pri upotrebi ovog dijagrama, metoda koja je opisana na ovakav način je dokazana.

Najvažnije je da se pri projektovanju i izradi, priključak na cilindričnom omotaču postavi na tačno određeno rastojanje od zavarenog spoja, koja se najčešće uočava kada je posuda pod pritiskom isprojektovana poput navedenog primera na slici 6. gde je to bio geometrijski preduslov za ugradnju komore u sklop posude pod pritiskom i vezu sa drugom posudom pod pritiskom.

## 5 Zaključak

U uvodnom delu su navedeni jednostavni i složeni oblici posuda pod pritiskom, opisan tehnološki proces u kom se sagledava način povezivanja u tehnološku celinu opreme pod pritiskom. Navedena je njegova ukupna upotrebna efikasnost koja se javlja pri ne uniformnom odabiru opreme i definisanju tehničkih zahteva.

U domaćoj i stranoj literaturi postoji veliki broj članaka o evropskoj direktivi za posude pod pritiskom kao i za pravilnike o opremi pod pritiskom. U ovom radu je dat poseban osvrt na identifikaciju opreme pod pritiskom prema pravilnicima koji su u upotrebi u Republici Srbiji, a usklađeni su sa direktivama Evropskog parlamenta i Saveta. U delu teksta 2.2 navedeno je na koji način se vrši obeležavanje posuda pod pritiskom, prema važećem pravilniku za opremu pod pritiskom u Republici Srbiji [12].

Autorov predlog za poboljšanje načina označavanja posuda pod pritiskom gde se vrši obeležavanje radi vizuelnog iskazivanja koja je oprema visokog nivoa opasnosti, a koja je oprema niskog nivoa opasnosti, ovakav način obeležavanja može značajno da pomogne pri pregledu opreme pod

pritiskom koja je u upotrebi, sa time da se ne umanjuje važnost opreme pod pritiskom niskog nivoa opasnosti koja je u upotrebi. Takođe taj način vizuelnog obeležavanja bi povećao pažnju i opreznost pri upotrebi korisnika opreme pod pritiskom.

Navedeno je 14 metoda za projektovanje i konstruisanje primenjenih na dancima koja sadrži poslednju metodu koja je navedena a objavljena pod nazivom "Nova teorija i dizajn elipsoidnih danca za posude pod pritiskom" iz 2021. godini [2].

Ovim radom je prikazano upoređivanje između razvoja konstruisanja posuda pod pritiskom i razvoja tehničkih propisa tokom vremena iskazanim na godišnjem nivou koje prati upotrebu posuda pod pritiskom. Prikazano je na slikama 4 i 5.

Prikazan je autorov način za određivanje približne vrednosti minimalne debljine zida cilindričnog omotača. Ovaj način može da se primeni na opremi pod pritiskom koja je u radu, za potrebe približnog određivanja debljine zida cilindričnog omotača.

## 6 Nomenklatura

- $VS_1$  – ventil sigurnosti koji je ugrađen na posudi broj 1
- $VS_2$  – ventil sigurnosti koji je ugrađen na posudi broj 2
- $PT$  – ispitni pritisak, [bar]
- $DN$  – nazivni prečnik cevovoda, [mm]
- $V$  – zapermina, [l]
- $L_{so}$  – rastojanje između dva zavarena spoja, [mm]
- $r_{is}$  – unutrašnji poluprečnik cilindričnog omotača, [mm]
- $D_s$  – spoljašnji prečnik cilindričnog omotača, [mm]
- $C_e$  – korekciona vrednost za izradu dijagrama, [mm]
- $e_{c,a}$  – usvojena debljina zida cilindričnog omotača, [mm]
- $e_{c,s}$  – približna vrednost minimalne debljine zida cilindričnog omotača, [mm]
- $e_{c,s,min}$  – najmanja približna vrednost minimalne debljine zida cilindričnog omotača, [mm]
- $e_{c,s,max}$  – najviša približna vrednost minimalne debljine zida cilindričnog omotača, [mm]
- $e$  – proračunska vrednost minimalne debljine zida cilindričnog omotača bez dodataka, [mm]

## 7 Literatura

- [1] **Isailović, M., Bogner, M.,** *Tehnički propisi o posudama pod pritiskom*, SMEITS, 2003.
- [2] **Jinyang, Z., Keming, L.,** *New Theory and Design of Ellipsoidal Heads for Pressure Vessels*, Springer Nature Singapore Pte Ltd, Singapore, Singapur, 2021.  
([https://doi.org/10.1007/978-981-16-0467-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0467-6_4))
- [3] **Somnath, C.,** *Pressure Vessels, Design and Practice*, CRC Press, Boca Raton, Sjedinjene Američke Države, 28.10.2004.
- [4] **John, F. H.,** *Theory & Design of Pressure Vessels*, Van Nostrand reinhold Company, New York, Sjedinjene Američke Države, 1997.
- [5] \*\*\*, *The Pressure Equipment Directive (PED), the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of pressure equipment* („Official Journal of the European Union”, No. 2014/68/EU), European Parliament and of the Council, 15.05.2014.
- [6] \*\*\*, *The Pressure Equipment Directive (PED) the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of simple pressure vessels* („Official Journal of the European Union”, No. 2014/29/EU), European Parliament and of the Council, 26.02.2014.
- [7] \*\*\*, *The Pressure Equipment Directive (PED)* („Official Journal of the European Communities”, br. 97/23/EC), European Parliament and of the Council, 29.05.1997.
- [8] \*\*\*, *Zakon o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju isaglašenosti* („Sl. glasnik RS”, br. 114/2021. od 14.05.2021. godine.), Narodna skupština Republike Srbije, 14.05.2021.

- [9] \*\*\*, *Zakon o izmenama i dopunama Zakona o privrednim društvima* („Službeni glasnik RS“, 44/2018. od 08.06.2018. godine), Narodna skupština Republike Srbije, 08.06.2018. (primenjuje se od 09.juna 2018 god.)
- [10] \*\*\*, *Pravilnik o opremi pod pritiskom* („Sl. glasnik RS“, br. 114/2021. od 30.11.2021. godine.), Ministarstvo rudarstva i energetike, 23.11.2021. (primenjuje se od 01.januara 2023 god.)
- [11] \*\*\*, *Pravilnik o jednostavnim posudama pod pritiskom* („Sl. glasnik RS“, br. 114/2021. od 30.11.2021. godine.), Ministarstvo rudarstva i energetike, 23.11.2021. (primenjuje se od 01.jula 2023 god.)
- [12] \*\*\*, *Pravilnik o pregeldima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe* („Sl. glasnik RS“, br. 114/2021 od 30.11.2021. godine), Ministarstvo rudarstva i energetike, 23.11.2021. (primenjuje se od 01.januara 2023 god.)
- [13] \*\*\*, *Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom* („Službeni glasnik RS“, br. 87/2011. od 21.11.2011. godine), Ministarstvo za infrastrukturu i energetiku, 19.10.2011. (primenjuje se od 01.jula 2012 god.)
- [14] \*\*\*, *Pravilnik o pregledima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe* („Službeni glasnik RS“, br. 87/2011. od 21.11.2011. godine, 75/2013. od 25.08.2013. godine i 44/2018. od 08.06.2018. godine - drugi zakon), Ministarstvo za infrastrukturu i energetiku, 19.10.2011. (primenjuje se od 01.jula 2012 god.)
- [15] \*\*\*, *Pravilnik o izmenama Pravilnika o pregledima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe* („Službeni glasnik RS“, br. 75/2013. od 25.08.2013. godine), Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, 19.08.2013.
- [16] \*\*\*, *Pravilnik o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom* („Službeni list SFRJ“, br. 16/1983. od 01.04.1983. godine.), Savezni zavod za standardizaciju, 17.01.1983.
- [17] \*\*\*, *Pravilnik o tehničkim propisima za izradu i upotrebu parnih kotlova, parnih sudova, pregrejača pare i zagrejača vode* („Službeni list FNRJ“, br. 7/1957, 22/1957, 3/1958., „Službeni list SFRJ“, br. 56/1972 i 61/1972. od 28.02.1957. godine), Savezni zavod za standardizaciju
- [18] \*\*\*, *Standard SRPS EN 13445-3:2021 Posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu – Deo 3: Projektovanje*, Institut za standardizaciju Srbije 31.08.2021.