

# CONSIDERATII ASUPRA DIMENSIONARII VIROLELOR RECIPIENTILOR SUB PRESIUNE AVAND DESTINATIE STOCAREA GAZELOR PETROLIERE LICHEFIATE

Florescu Virgil, conferentiar universitar dr. ing. Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti  
Rus Dorin, sef lucrari drand. ing. Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

## 1. ABSTRACT

The work paper is focused for a calculus analysis of the shell tank thickness for LPG tank. A study of calculus result by ISCIR Technical Prescription C4/2/2003 method versus MEF (method of finite element) was made.

## 2. ELEMENTE GENERALE DE CALCUL.

Din punct de vedere a calculului de rezistență, recipientele sferice sunt învelișuri de revoluție iar recipientele cilindrice cu funduri bombate, conice sau plane sunt combinații de învelișuri de revoluție sau/și cu plăci, toate secțiunile transversale fiind cercuri.

Considerând învelișul ca o membrană solicitată numai la întindere (fără momente), condiția ca un astfel de înveliș să ia forma de rotație este ca presiunea din interiorul lui - în plan normal pe axă - să fie constantă.

Dacă se detașează unui element (cu ajutorul a două plane transversale și a două plane longitudinale-radiale) din învelișul de grosime  $\delta$ , rază de curbură mediană în plan longitudinal  $\rho_1$  și rază de curbură mediană în plan transversal  $\rho_2$  (Fig.6.3.1), secțiunile vor avea suprafețele :

-secțiunile orizontale:  $\rho_2 \cdot \delta \cdot d\theta_2$

-secțiunile verticale:  $\rho_1 \cdot \delta \cdot d\theta_1$

Suprafața mediană a elementului:  $ds = \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot d\theta_1 \cdot d\theta_2$

În centrul elementului, pe direcția normalei (n) acționează o forță radială :  $p \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot d\theta_1 \cdot d\theta_2$

Această forță este echilibrată de cele 4 forțe care acționează pe suprafețele laterale ale elementului, deci se poate scrie ecuația de echilibru a proiecțiilor celor 5 forțe.

-Ecuația de echilibru pe direcția normalei la suprafață:

$$2 \cdot \sigma_1 \cdot \delta \cdot \rho_2 \cdot d\theta_2 \cdot \sin(d\theta_1/2) + 2 \cdot \sigma_2 \cdot \delta \cdot \rho_1 \cdot d\theta_1 \cdot \sin(d\theta_2/2) = p \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot d\theta_1 \cdot d\theta_2$$

Având în vedere că valorile unghiurilor elementare  $d\theta_1$  și  $d\theta_2$  sunt foarte mici, se poate scrie egalitatea aproximativă dinte valorile acestor unghiuri (exprimate în radiani) și valorile sinusurilor respective:  $\sin(d\theta_1/2) \approx d\theta_1/2$  și:  $\sin(d\theta_2/2) \approx d\theta_2/2$ . Simplificând ecuația cu factorul comun:  $\rho_1 \rho_2 d\theta_1 d\theta_2$ , rezultă ecuația lui Laplace:

$$\frac{\sigma_1}{\rho_1} + \frac{\sigma_2}{\rho_2} = \frac{p}{\delta} \quad [1]$$

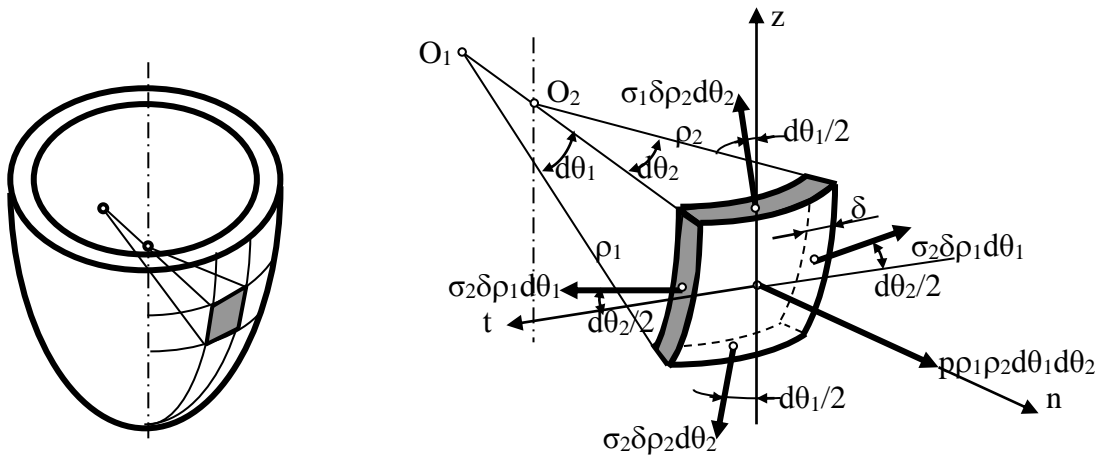


Fig.1. Schema de calcul a forțelor pentru un element de înveliș subțire.

-Ecuția de echilibru (proiecții) a forțelor pe direcția axei vasului are forma:

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta \cdot \sigma_1 \cdot \sin \theta_1 = \pi \cdot r^2 \cdot p$$

Ținând seama că:  $\sin \theta_1 = \frac{r}{\rho_2}$ , rezultă:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot r}{2\delta \cdot \sin \theta_1} = \frac{p \cdot \rho_2}{2\delta} \quad [2]$$

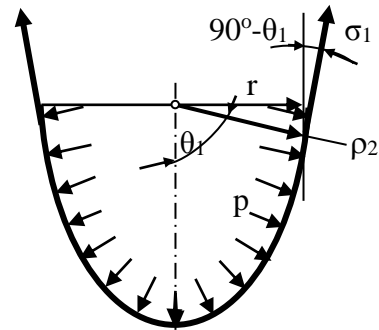


Fig.2. Schema tensiunilor în plan longitudinal.

Ecuțiile [1] și [2] formează sistemul lui Laplace.

**Observații:**

- cele două ecuații au fost obținute fără a fi luate în considerare deformațiile.
- Învelișul vasului se află în stare plană de tensiuni ( $\sigma_1$  și  $\sigma_2$ )
- Tensiunea radială  $\sigma_3 = -p$  (la interior) și  $\sigma_3 = 0$  la exterior, se neglijează la vasele cu pereți subțiri, având în vedere valorile ei relativ mici, de maximum câteva zeci de bari.

**3. CALCULUL DE REZISTENȚĂ PENTRU RECIPIENTE CILINDRICE.**

În cazul recipientelor cilindrice:  $\rho_1 = \infty$  și  $\rho_2 = D_m/2$

Sistemul lui Laplace are forma:  $\sigma_2 = \frac{p \cdot D_m}{2\delta}$  și:  $\sigma_1 = \frac{p \cdot D_m}{4\delta}$ , deci:  $\sigma_2 = 2 \cdot \sigma_1$

Recipientele cilindrice se distrug după generatoare, deci calculul lor se va face pe baza tensiunii

maxime:  $\sigma_2 = \frac{p \cdot (D_i + \delta)}{2\delta} \leq \sigma_{at}$  sau:  $\delta \geq \frac{p \cdot D_i}{2\varphi \cdot \sigma_{at} - p}$  relație în care a fost introdus

coeficientul de calitate a sudurii,  $\varphi$  (subunitar = 0,6 . . . 1).

$\sigma_{at}$  este tensiunea admisibilă la tracțiune a materialului din care este confecționat recipientul, fiind valoarea cea mai mică dintre valoarea obținută prin împărțirea limitei de curgere ( $R_c^t$ ) cu un coeficient de siguranță ( $c_{s1}$ ) și valoarea rezistenței la rupere ( $R^{20}$ ) împărțită cu un coeficient de

siguranță ( $c_{s2}$ ):  $\sigma_{at} = \max \left( \sigma_{at} = \frac{R_c^t}{c_{s1}}, \sigma_{at} = \frac{R^{20}}{c_{s2}} \right)$

## 4. EXEMPLU DE CALCUL

Prezentul breviar de calcul face parte integranta din rapoartele de examinari, incercari si investigatii in vederea evaluarii starii tehnice la recipientii de depozitare gaze petroliere lichefiate, in conformitate cu prescriptia tehnica C4/2/2003, colectia ISCIR

Verificarile prin calcul constau in:

- **calcul** de rezistenta constand in detreminarea grosimilor de rezistenta la presiune interioara si compararea cu grosimile minime masurate cu ultrasunete si prezentate in buletinele de incercari emise de catre laboratorul ce a efectuat investigatiile..
- **determinarea presiunii admisibile** de lucru si compararea cu presiunea de calcul
- **calcul la presiunea exterioara**, luand in considerare valoarea depresiunii posibile, tinand cont de faptul ca rezervorul urmeaza a fi folosit pentru stocarea de propan si amestecuri propan butan, iar in acest caz putand sa apara o depresiune cauzata de temperaturi scazute.

### 4.1. Date de calcul:

#### Parametrii de lucru:

- Volumul 91000 l
- presiunea maxima admisibila 18 bar
- presiunea de incercare hidraulica 23 bar
- temperature maxima admisibila de lucru +55 °C
- temperature minima admisibila de lucru - 30 °C

#### Elemente geometrice:

- diametru interior 2968 mm
- lungime totala 13682 mm
- lungimea cilindrului 12000 mm
- funduri elipsoidale

#### Caracteristici mecanice:

Recipientul a fost realizat din marca de material NIOVAL 47 cu urmatoarele caracteristici:

C % max	Si %	Mn%	Pmax%	Smax%	Vmax%
0.2	0.4	1.1 – 1.65	0.03	0.03	0.1

- rezistenta de rupere 560 MPa
- rezistenta de curgere 460 MPa

Pentru calcul s-au luat in considerare proprietatile mecanice specificate anterior si mentionate in cartea recipientului

### 4.2. Stabilirea tensiunii admisibile:

Tensiunea admisibila (notat fa) se defineste ca fiind valoarea minima a rapoartelor:

$R_{C^{20}/C_{S1}}$  si  $R/C_{S2}$

Unde :

$R_{c^{20}}$  = rezistența la rupere la întindere la temperatura de 20°C în MPa  
 $R$  = limita de curgere la temperatura de calcul  
 $c_{s1}$  = coeficient de siguranță  
 $c_{s2}$  = coeficient de siguranță

în conformitate cu cartea recipientului valorile sunt:

$R_{c^{20}}$  = 560 MPa  
 $R$  = 460 MPa  
 $c_{s1}$  = 2,4 (cf. PT C4/2 – 2003)  
 $c_{s2}$  = 1,5 (cf. PT C4/2 – 2003)

$R_{c^{20}}/c_{s1}$  = 560/2,4 = 233.333 [ MPa]  
 $R/c_{s2}$  = 460/1,5 = 306.667 [ MPa]

Valoarea **fa** va fi de **233.333** [ MPa]

## 4.2. Calculul grosimii tablei

Notatiile de calcul:

$D$  = diametrul interior în cm  
 $H$  = înălțimea părții bombate a fundului  
 $spf$  = grosimea elementului – în cm  
 $K_s$  = factor de formă  
 $C1$  = adaos pentru condiții de exploatare în cm  
 $C2$  = adaos pentru rotunjire în cm  
 $fa$  = tensiunea admisibilă în MPa  
 $zf$  = coeficient de rezistență a îmbinării sudate  
 $pc$  = presiunea de maximă exploatare în MPa

## 4.3. Calculul virolelor

Se definește suplimentar mărimea:

$z$  = coeficient de rezistență a îmbinării sudate  
 $z = 0,95$  cf anexa H la procedura C4/2-2003 (pentru examinare nedistructivă 100%)  
 grosimea virolei în cm este notată cu  $Sp$

**relația de calcul este aceea pentru care raportul  $(Sp-C1)/D \leq 0,1$**

$$\frac{Sp - C1}{D} := 3.364 \times 10^{-3} < 0,1$$

și anume:

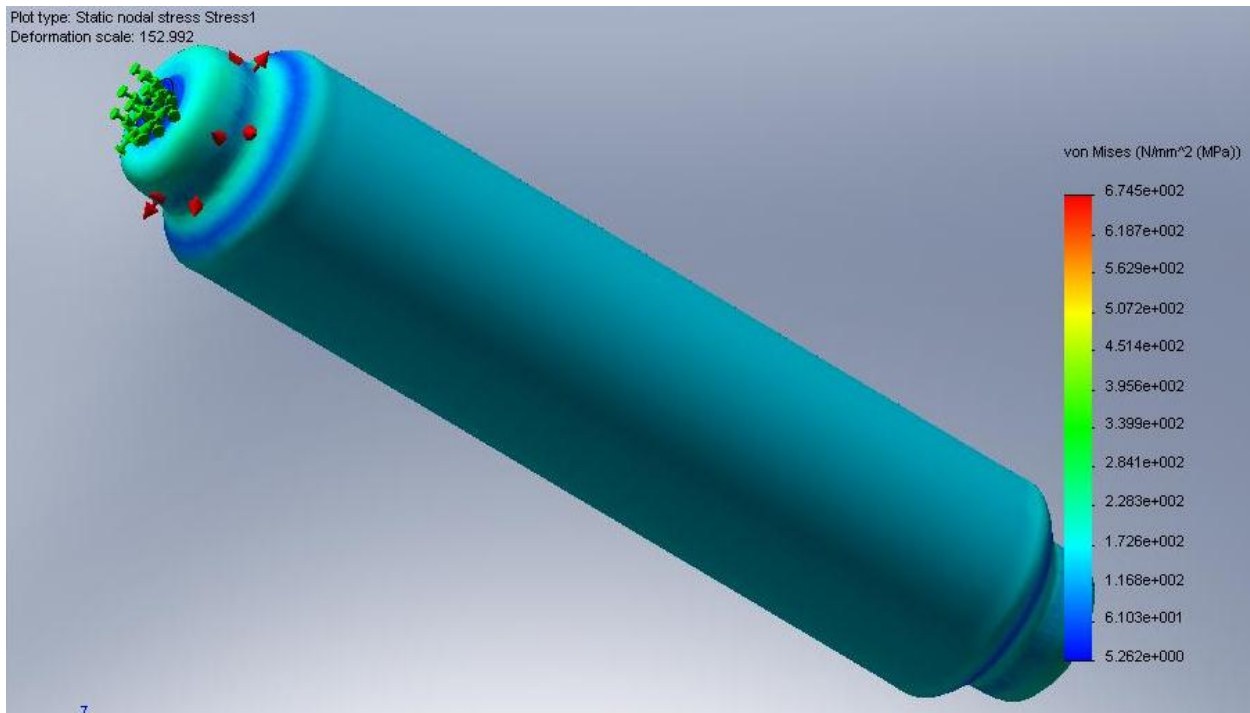
$$Sp := C1 + C2 + \frac{pc \cdot D}{2fa \cdot z - pc}$$

Valoarea rezultată pentru o presiune  $pc = 1.8$  MPa (18 bar) ;  $D = 296,8$  cm este :

**Sc = 1,36 cm adică 13,6 mm**

## 5. ANALIZA CU ELEMENT FINIT

Pentru comparație s-a efectuat și o analiză prin intermediul metodei elementului finit  
 Rezultatele sunt prezentate mai jos



**Fig 3. eforturi echivalente von Mises**

## 6. CONCLUZIE:

Tinand cont de rezultatele obtinute pentru virole, se poate concluziona ca:  
 In practica (prescriptia tehnica C4/2/2003, colectia ISCIR) calculul se realizeaza in baza adoptarii a doi coeficienti de siguranta, corespunzatori limitei de curgere, repectiv rupere.  
 Asa cum se observa, din calculul prezentat, coeficientul prescris limitei de curgere are o influenta majora, ducand la o valoare a tensiunii admisibile cu circa 25% mai mica decat cea de rupere. Acest lucru conduce la o majorare a grosimii tablei cu minim 2 mm, in cazul analizat, desi au fost majorate si valorile pentru abaterea negativa standard a tablei de la 0,08 cm la 0,1 cm, la care s-a adaugat si un adaos de rezistenta la coroziune de 0,05 cm.  
 Din acest motiv propunem modificarea valorii coeficientului de siguranta corespunzator valorii rezistenta la rupere la intindere la temperatura de 20<sup>0</sup>C la 2 in loc de 2,4.

## 7. Bibliografie:

1. V. Florescu – note de curs
2. D. Rus – note de curs
3. Prescriptie tehnica PT C4/1; PT C4/2, colectia ISCIR

### 4. Standarde

- SR EN 485-2:1995, Aluminii și aliaje de aluminii. Table, benzi și table groase. Partea 2: Caracteristici mecanice  
 SR EN 485-4:1995, Aluminii și aliaje de aluminii. Table, benzi și table groase. Partea 4: Toleranțe de formă și la dimensiuni pentru produse laminate la rece  
 SR EN 499:1997, 2: Caracteristici mecanice  
 SR EN 10002-1:1995, Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 1: Metoda de încercare (la temperatura ambiantă)  
 SR EN 10020:1993, Definierea și clasificarea mărcilor de oțel Coroziunea metalelor și aliajelor. Încercări la coroziune sub tensiune. Partea 2: Pregătirea și utilizarea epruvetelor încovoiate  
 SR ISO 9477:1995, Oțeluri turnate de înaltă rezistență pentru construcții mecanice și construcții metalice de uz general  
 SR 6808:1998, Utilaj pentru industria chimică. Funduri pentru recipiente cilindrice. Condiții tehnice generale de calitate  
 STAS 492/1-85, Încercările metalelor. Încercarea de duritate Vickers. HV 5 până la HV 100  
 STAS 492/2-85, Încercările metalelor. Încercarea de duritate Vickers. HV 0,2 până la HV 3

STAS 500/1-89, Oțeluri de uz general pentru construcții. Condiții tehnice generale de calitate

STAS 500/2-80, Oțeluri de uz general pentru construcții. Mărci

STAS 505-86, Oțel laminat la cald. Table groase. Condiții tehnice de calitate

STAS 880-88, Oțeluri carbon de calitate pentru tratament termic, destinate construcției de mașini. Mărci și condiții tehnice de calitate

STAS 1097/2-91, Rezistența materialelor. Terminologie și simboluri

STAS 2883/3-88, Oțel laminat la cald. Oțeluri destinate tablelor de cazane și recipiente sub presiune pentru temperatură ambiantă și ridicată. Mărci și condiții tehnice de calitate

STAS 3478-86, Recipiente sub presiune. Placă de timbru