

NUMERICAL SOLUTIONS FOR VARIOUS ARTILLERY TUBE GEOMETRIES AND MODES OF LOADING

Prof.univ.dr.ing. Ghita BARSAN, Lector.univ.dr. Luminita GIURGIU

Academia Fortelor Terestre „Nicolae Balcescu” Sibiu

Abstract

Based on the calculus model for non-linear environments in the case of elastic-plastic stress-strain of thick-walled tubes, the paper presents the numerical solutions for different geometries of the barrel and modes of loading.

The method presented in the 2007 CNCSIS scientific research project, 970 code, is validated on a numerical application in which the behavior of a thick-walled tube is analyzed when there exists elastic-plastic stress-strain, without an axial load ($q = 0$), made from a homogenous material (specially heat treated steel).

Raportul dintre raza interioară și raza exterioară a țevii este:
 $\alpha = 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2$.

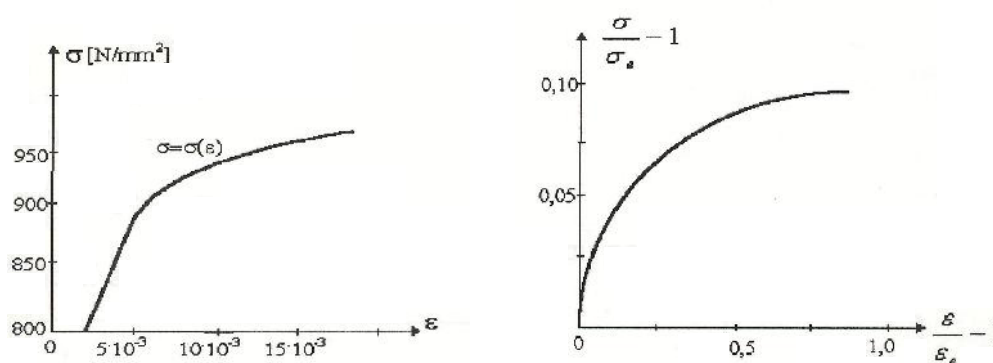


Fig.1 Aproximarea curbei caracteristice

Funcția $M(\sigma_i)$ [1] fost determinată pe diagrama caracteristică a materialului (fig. 1).

Ramura curbei caracteristice din zona $1 < \sigma < 1.1$ a fost reprezentată într-un nou sistem de coordonate: $\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_e} - 1, \frac{\sigma}{\sigma_e} - 1\right)$

În noul sistem de coordonate curba caracteristică a aproximat, cu suficientă precizie, cu funcția:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1 = \frac{\sigma}{\sigma_e} - 1 + 0,243 \left[10 \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} - 1 \right) \right]^2 + 0,926 \left[10 \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} - 1 \right) \right]^7 \quad (1)$$

Cu noile coordonate, funcția $M(\sigma_i)$ are forma:

$$M(\sigma_i) = \frac{9}{4} \left[\frac{d \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_e} - 1 \right)}{d \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} - 1 \right)} - 1 \right] \quad (2)$$

Pe cele trei intervale funcția $M(\sigma_i)$ a rezultat astfel:

$$M = \begin{cases} 0 & , \quad \sigma_i \leq 1 \\ 10,94[10(\sigma_i - 1)] + 145,8[10(\sigma_i - 1)]^6 & , \quad 1 < \sigma_i < 1,103 \\ 185,4 & , \quad \sigma_i \geq 1,103 \end{cases} \quad (3)$$

Pe aceeași diagramă caracteristică s-au determinat:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_e = 850 \frac{N}{mm^2}, \varepsilon_e = 4,15 \cdot 10^{-3} \end{array} \right. \quad (4)$$

Ca stare inițială s-a considerat starea limită elastică a tubului. În această stare, pe suprafața interioară a tubului ($p=1$) intensitatea tensiunilor ia valoarea limitei de elasticitate. Presiunea corespunzătoare acestei stări se obține ținând seama că în punctele interioare tensiunile sunt:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\theta_0} = \frac{\alpha^2 + 1}{\alpha^2 - 1} p_{lim_e} \\ \sigma_{r_0} = -p_{lim_e} \\ \sigma_{z_0} = 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

rezultând:

$$p_{lim_e} = \frac{\alpha^2 - 1}{\sqrt{3\alpha^4 + 1}} \quad (6)$$

Tubul a fost discretizat cu elemente finite cu pasul radial $h = 0,01$ (fig. 2).

Numărul de ordine al elementului este identic cu numărul de ordine al nodului interior.

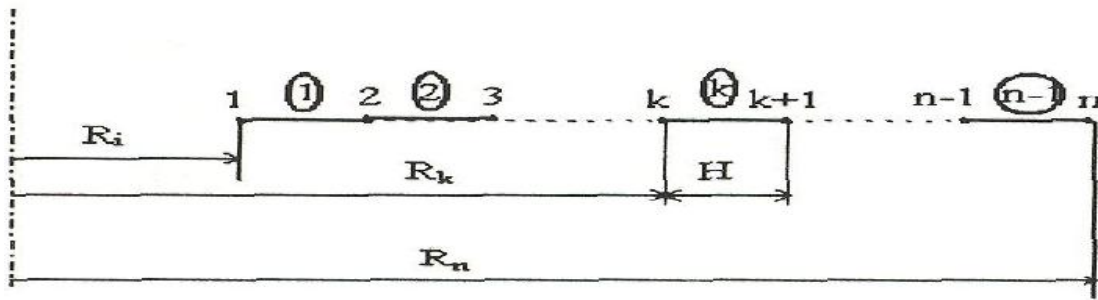


Fig. 2 Discretizarea tubului in elemente finite

Pentru elementul k tensiunile inițiale în centrul acestuia sunt:

$$\sigma_{\theta_0} = \frac{p_{\text{lim}_e}}{\alpha^2 - 1} \left(1 + \frac{\alpha^2}{\rho_m^2} \right), \sigma_{r_0} = \frac{p_{\text{lim}_e}}{\alpha^2 - 1} \left(1 - \frac{\alpha^2}{\rho_m^2} \right), \sigma_{z_0} = 0$$

(7)

ρ_m fiind raza medie adimensională a elementului.

Deplasările inițiale în nodurile i și n sunt date de relațiile:

$$u_0 = \frac{1}{h} \frac{(1 + \mu)\alpha^2 + 1}{\alpha^2 - 1} p_{\text{lim}_e}, u_{n_0} = \frac{1}{h} \frac{2\alpha}{\alpha^2 - 1} p_{\text{lim}_e}, w_0 = \frac{2\mu}{\alpha^2 - 1} p_{\text{lim}_e} \quad (8)$$

Cu programul conceput special pentru analiza tuburilor solicitate în regim elasto-plastic, pe baza celor descrise mai sus, încercând diverse valori pentru salturile de presiune Δp s-a constatat că între soluțiile obținute cu $\Delta p = 0,01$ și $\Delta p = 0,005$ diferențele sunt practic insesizabile.

Prezentăm în continuare câteva rezultate obținute pentru diverse presiuni de lucru.

Pentru $\alpha = 1.4$, $p_{\text{lim}_e} = 2712,6 \text{ bar}$ la treapta de încărcare 17, corespunzătoare presiunii de lucru de $3512,6 \text{ bar}$, găsim următoarele rezultate (tabelul 1):

Tabelul 1 Rezultate pentru $\alpha = 1.4$ și $p_{\text{lim}_e} = 2712.4 \text{ bar}$

Presiune	Depl. axială	Depl. int.	Depl. ext.	$\Delta\mu_{\text{interior}}$	$\Delta\mu_{\text{exterior}}$
0,35626	0,24158771	130,6393	111,7767	3,4392	2,8259
Nr. el.	$M(\sigma_i)$	σ_{θ}	σ_r	σ_z	σ_i
1	51,01	0,86290	-0,35018	0,00034	1,08131
16	7,06	0,94291	-0,18638	0,00143	1,04809
17	6,04	0,94521	-0,17669	0,00051	1,04463
18	4,55	0,94397	-0,16715	-0,00020	1,03776
19	3,67	0,94374	-0,15777	-0,00105	1,03211
20	2,86	0,94265	-0,14856	-0,00187	1,02577
40	0	0,80059	-0,00287	-0,00227	0,80316

Rezultatele prezentate sunt mărimi adimensionale, așa cum au fost definite în modelul de analiză numerică prezentat anterior.

Tabelul 2 Rezultate pentru $\alpha = 1.4$ și $p_{lim_e} = 2712.4 \text{ bar}$

Presiunea	Nr.elemente plasticizate	Depl. axială	Depl. interior	Depl. exterior	$\Delta\mu_{interior}$	$\Delta\mu_{exterior}$
0,27626	1/40	-0,17266	93,4682	80,5760	1,6918	1,4585
0,28126	2/40	-0,17582	95,1813	82,0510	1,7132	1,4741
0,28626	3/40	-0,17904	96,9313	83,5542	1,7499	1,5033
0,29126	4/40	-0,18234	98,7261	85,0922	1,7949	1,5380
0,29626	5/40	-0,18573	100,5737	86,6710	1,8476	1,5788
0,30126	6/40	-0,18922	102,4808	88,2959	1,9071	1,6249
0,30626	7/40	-0,19283	104,4547	89,9724	1,9739	1,6766
0,31126	8/40	-0,19658	106,5045	91,7080	2,0498	1,7356
0,31626	9/40	-0,20048	108,6388	93,5092	2,1342	1,8012
0,32126	11/40	-0,20458	110,8752	95,3901	2,2365	1,8809
0,32626	12/40	-0,20889	113,2238	97,3584	2,3485	1,9683
0,33126	13/40	-0,21344	115,6927	99,4207	2,4689	2,0623
0,33626	15/40	-0,21826	118,2971	101,5891	2,6044	2,1684
0,34126	16/40	-0,22342	121,0715	103,8910	2,7744	2,3019
0,34626	17/40	-0,22896	124,0210	106,3304	2,9495	2,4394
0,35126	19/40	-0,23499	127,2001	108,9509	3,1791	2,6205
0,35626	21/40	-0,24159	130,6393	111,7767	3,4392	2,8259
0,36126	23/40	-0,24890	134,3907	114,8497	3,7514	3,0729
0,36626	25/40	-0,25716	138,5535	118,2493	4,1627	3,3997
0,37126	27/40	-0,26677	143,2765	122,0955	4,7231	3,8462
0,37626	30/40	-0,27829	148,7691	126,5567	5,4926	4,4612
0,38126	32/40	-0,29297	155,4995	132,0105	6,7304	5,4538
0,38626	36/40	-0,31413	164,6697	139,4290	9,1702	7,4185

În figura 3 sunt reprezentate variația deplasărilor $\Delta\mu_{interior}$, $\Delta\mu_{exterior}$ în funcție de presiunea de încărcare. Se poate reprezenta și numărul de elemente plasticizate în funcție de presiunea de încărcare (discretizarea tubului pentru $\alpha = 1,4$ s-a făcut cu 40 elemente axial simetrice).

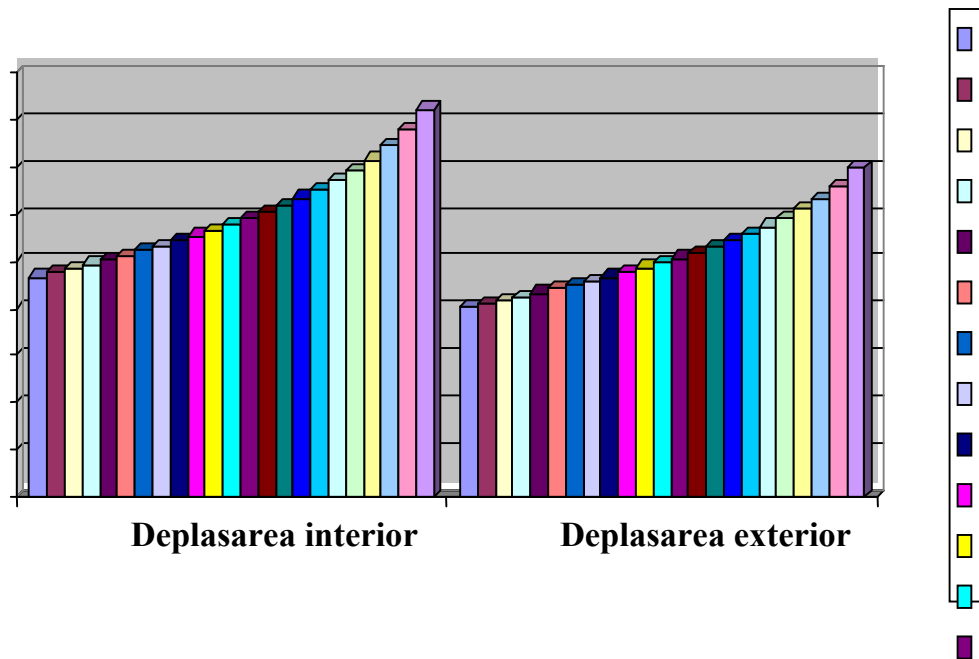


Fig. 3 Variația deplasărilor

Pentru $\alpha = 1.6$ tubul a fost discretizat în 60 de elemente axiale simetrice. La treapta de încărcare 31, unde presiunea de lucru este de 4982 bar s-au plasticizat aproximativ 50% din elemente obținându-se următoarele rezultate:

Tabelul 3 Rezultate pentru $\alpha = 1.6$ și $p_{lim_e} = 4982 \text{ bar}$

Presiune	Depl. axială	Depl. interior	Depl. exterior	$\Delta\mu_{interior}$	$\Delta\mu_{exterior}$
4982 bar	-0,21377	147,4629	115,0411	3,1096	2,2758
Nr. element	$M(\sigma_i)$	σ_θ	σ_r	σ_z	σ_i
1	85,3388	0,75250	-0,49197	-0,00319	1,08962
25	6,6529	0,91153	-0,23369	0,00404	1,04680
26	5,4566	0,91291	-0,22457	0,00368	1,04227
27	4,5498	0,91414	-0,21557	0,00327	1,03774
28	3,5318	0,91308	-0,20670	0,00289	1,03108
29	2,6294	0,91122	-0,19800	0,00252	1,02379
30	1,7957	0,90910	-0,18944	0,00213	1,01639
60	0	0,72190	-0,00212	0,00212	0,72198

Pentru $\alpha = 1.8$ tubul s-a discretizat în 80 de elemente, iar pentru $\alpha = 2$, respectiv $\alpha = 2.2$ discretizarea s-a făcut cu un număr de 100 elemente axiale simetrice, respectiv 120. Vom prezenta doar rezultatele obținute pentru $\alpha = 2$, caz frecvent întâlnit în construcția țevelor de artilerie.

La treapta de încărcare 59 unde presiunea de lucru are valoarea de 7250 bar au rezultat:

Tabelul 4 Rezultate pentru $\alpha = 2,2$ și $p_{lim_e} = 7250\text{bar}$

Presiune	Depl. axială	Depl. interior	Depl. exterior	$\Delta\mu_{interior}$	$\Delta\mu_{exterior}$
7250 bar	-0,16383	181,7480	117,6313	2,9737	1,7413
Nr. element	$M(\sigma_i)$	σ_θ	σ_r	σ_z	σ_i
1	153,35	0,55148	-0,71722	-0,12696	1,09961
41	5,60	0,86100	-0,30346	0,01295	1,04290
42	4,57	0,86192	-0,29523	0,01326	1,03787
43	3,69	0,86208	-0,28710	0,01350	1,03225
44	2,88	0,86141	-0,27910	0,01368	1,02594
45	2,04	0,85960	-0,27120	0,01379	1,01866
46	1,04	0,85573	-0,26345	0,01385	1,00951
100	0	0,59380	-0,00149	0,01386	0,58777

Trecând de la mărimile adimensionale adoptate prin modelul numeric propus la valorile reale ale acestora se obține pentru presiunea de 7250 bar $u_{int_{inc}} = 0,19\text{ mm}$; $u_{int_{rem}} = 0,05\text{ mm}$; $u_{ext_{rem}} = 0,025\text{ mm}$.

Și în acest caz putem face o reprezentare a numărului de elemente plasticizate (fig. 4) în funcție de presiunea de lucru.

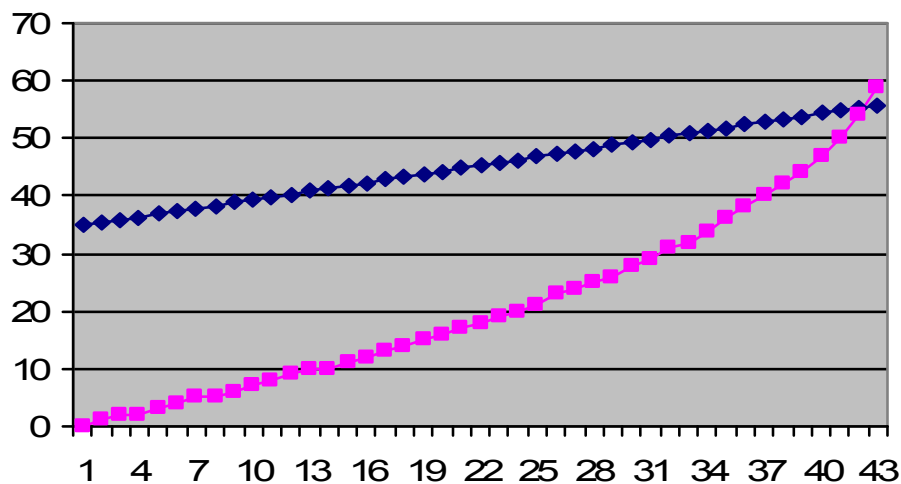


Fig. 4 Numărul de elemente plasticizate

Se poate face o reprezentare a deplasărilor interioare, respectiv exterioare, a razei de plasticizare (raza corespunzătoare ultimului element axial simetric plasticizat) în funcție de presiunea de lucru (fig. 5), precum și a tensiunilor circumferențiale, radiale și axiale pentru o anumită valoare dată a presiunii de lucru (fig. 6).

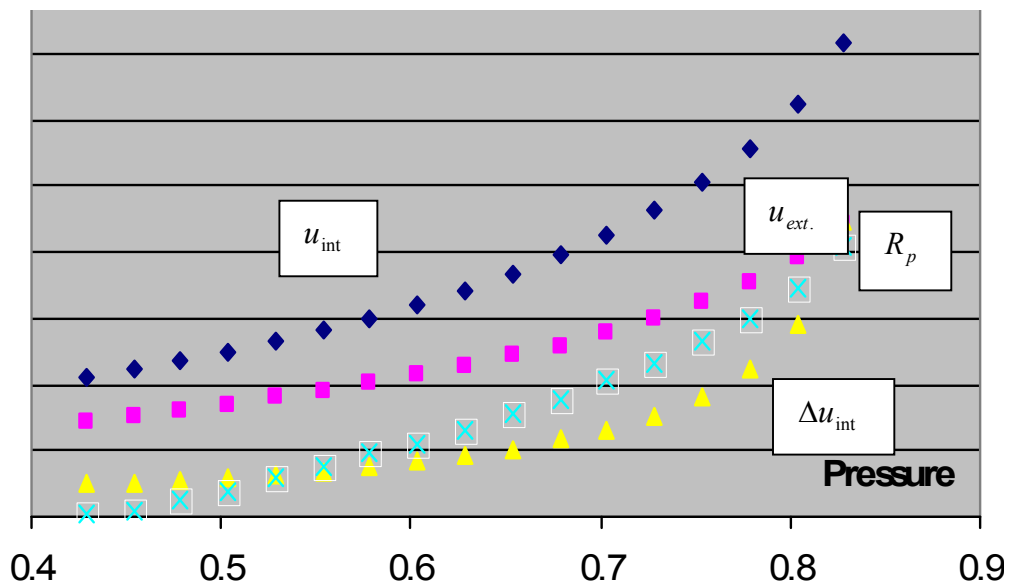
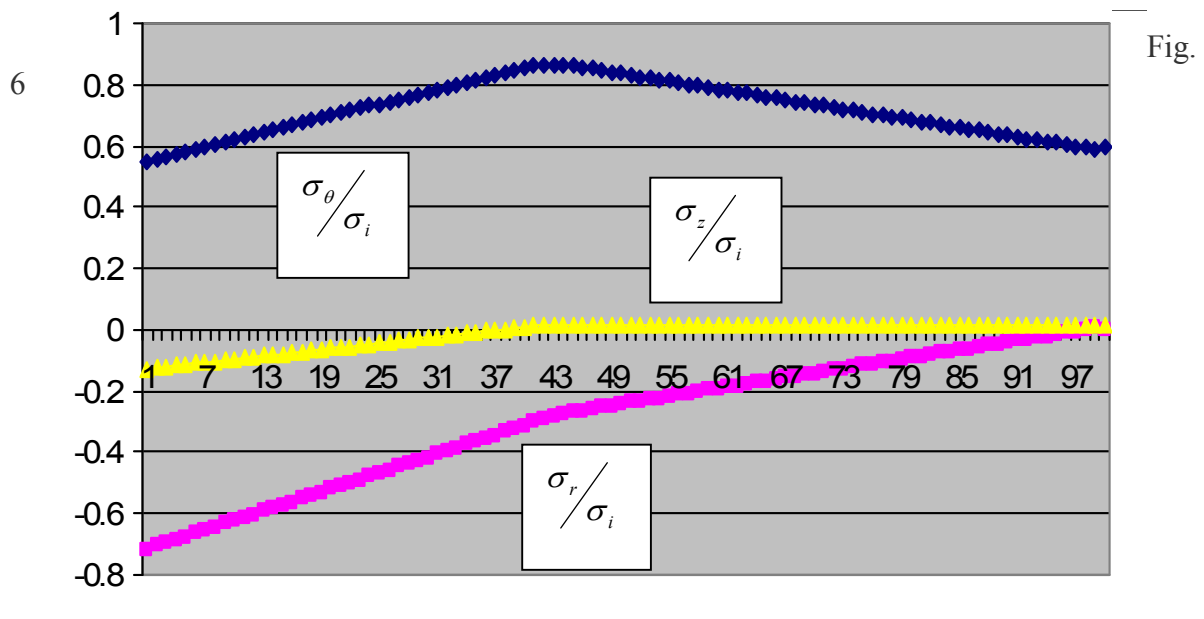


Fig. 5 Deplasările interioare, respectiv exterioare, a razei de plasticizare în funcție de presiunea de lucru



Reprezentarea tensiunilor circumferențiale, radiale și axiale pentru presiunea lucru de 7250 bar

Pentru tuburile cu pereți groși la care $\alpha = 2$, pe baza cercetărilor și experimentelor efectuate rezulta că raza optimă de fretaj se obține - pentru oțelul studiat - pentru presiunea de 7250 bar.

Rezultatele obținute, precum și determinările experimentale validează modelul matematic propus și aplicația informatică pentru medii neliniare.

BIBLIOGRAFIE:

- [1]. Bârsan Ghiță, Giurgiu Luminița, Barbu Mădălin, Lică-Mihăilă Gabriela, *Modelarea procesului de autofretare a tuburilor cu pereți groși utilizând metoda elementelor finite*, Buletinul Academiei Forțelor Terestre, 1(23)/2007, pag.17-31, ISSN 1224/5178;
- [2]. Bârsan Ghiță, Haș Ioan, Lică-Mihăilă Gabriela, *Considerații privind comportarea mecanică a materialelor sub presiune hidrostatică*, Revista Academiei Forțelor Terestre, 2(46)/2007, pag.163-168, ISSN 1582-6384;
- [3]. Bârsan Ghiță, Bechet Paul, Barbu Mădălin, *A Basic Theoretical Model for Elastic-Plastic Stress Analysis of the Thick-Walled Tubes Subjected to an Internal Pressure*, International Conference on Military Technologies, ICMT '07, May 2 – 4, 2007, Brno, Czech Rep. , pag. 65-70, ISBN 978-80-7231-238-2;
- [4]. Bârsan Ghiță, Barbu Mădălin, *About Combined Charges Combustion in Gun Systems*, International Conference on Military Technologies, ICMT '07, May 2 – 4, 2007, Brno, Czech Rep. , pag. 71-78, ISBN 978-80-7231-238-2;
- [5]. Bârsan Ghiță, Giurgiu Luminița, Lică-Mihăilă Gabriela, *Establishing a Model for Non-Linear Environment in the Case of Autofretting of the Thick-Walled Tubes*, Proceedings of the 5th International Conference New Challenges in the Field of Military Sciences 2007, Zrínyi Miklós National Defence University Bolyai János - Military Technical Faculty, Budapest, 13-15 November 2007;
- [6]. Bârsan Ghiță, Lică-Mihăilă Gabriela, Oancea Romana, *Numerical Solutions in the Case of Autofretting of the Thick-Walled Tubes for Different Geometries and Modes of Loading*, Proceedings of the 5th International Conference New Challenges in the Field of Military Sciences 2007, Zrínyi Miklós National Defence University Bolyai János - Military Technical Faculty, Budapest, 13-15 November 2007;
- [7]. Bârsan Ghiță, Miclăuș Simona, Căruțașu Vasile, *An Innovative Process for Increasing Mechanical Properties for Gun Barrels*, The 5th International Conference „New Research in Material Science“, ARM 5, ICPE, Sibiu, 5-7 septembrie 2007, vol.3, pag. 890-893.