

Stabilitatea conductelor îngropate din țevi de polietilenă

ALEXANDRU PUPĂZESCU*

Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, B-dul București, Nr. 39, 107071, Ploiești, România

The vertically acting load of soil causes a deflection of the pipe, which in turn results in a horizontal supporting soil pressure to show up. The pipe wall will be then subjected to both compression stresses and bending stresses. As consequence, the design of flexible PE pipe buried in the ground follows quite different rules from those classically accepted for rigid pipes. The article presents the soil burial loads of flexible pipes. The short-term, the long-term maximum vertical deflection and the resistance to buckling were determined.

Keywords: polyethylene pipe, buried plastic pipes, strength, buckling

Ca urmare a progreselor tehnologice din ultimii ani, care au permis obținerea de țevi din polietilena de înaltă densitate (High Density Poli Ethylene-HDPE) cu diametre și grosimi de perete din ce în ce mai mari, s-a extins utilizarea acestora, de la transportul apei și al gazelor naturale, la evacuarea apelor reziduale. Din această cauză evaluarea comportării țevilor din polietilenă, în special a celor nepresurizate la interior, la solicitări mecanice produse de mediul înconjurător (solul în cazul țevilor îngropate sau apa în cazul celor submersate) a căpătat o importanță deosebită.

Când forțele de compresiune din peretele țevii, produse de presiunea exterioară exercitată de sol, sunt mari ele pot produce pierderea stabilității peretelui țevii. Riscul de flambaj este mai mare în cazul solurilor tari (ferme) decât în solurile slabe.

Presiunea exterioară teoretică de pierdere a stabilității este dată de relația

$$q_F = 8S_I(n^2 - 1) \quad (1)$$

unde n reprezintă numărul de puncte în care peretele țevii își pierde stabilitatea.

În formula (1) S_I reprezintă rigiditatea țevii și se calculează cu relația:

$$S_I = \frac{EI}{1 - \mu^2} \cdot \frac{1}{D^3} \quad (2)$$

în care:

$I = 1 \cdot s^3/12$ este momentul de inerție al secțiunii unui inel de țevă de grosime s și lungime egală cu unitatea;

D - diametrul mediu al țevii;

E - modulul de elasticitate al materialului țevii;

μ - coeficientul de contracție al materialului țevii.

Valabilitatea formulei (1) este condiționată de faptul că țevă trebuie să aibă un comportament elastic, iar secțiunea acesteia trebuie să fie inițial circulară. Este

asumat, în plus, faptul că presiunea exterioară, la care țeva este solicitată, acționează similar unei presiuni hidrostatice.

În cazul în care conducta este îngropată în sol tare (ferm), presiunea externă care produce pierderea stabilității se poate determina cu relația [1]:

$$q_F = 5,63 \sqrt{S_I E'_t} \quad (3)$$

în E'_t este modulul de elasticitate tangent al solului.

Polietilena nu are însă o comportare elastică, ci una vâscoelastică, ceea ce face ca modulul de elasticitate E , care intră în expresia lui S_I , să fie înlocuit cu modulul de relaxare, care depinde de nivelul tensiunilor și de timpul de solicitare.

Folosind diagrame de felul celei din figura 1, în care dependența modulului de relaxare E și a tensiunii σ , în funcție de timpul de solicitare și de deformația specifică ϵ , a fost determinată experimental și formula (1), s-au calculat valorile lui q_F pentru sorturile de polietilenă PE100 și PE80 (din care sunt confecționate țevile de distribuție a gazelor naturale) în funcție de presiunea nominală PN de funcționare precizate în tabelul 1.

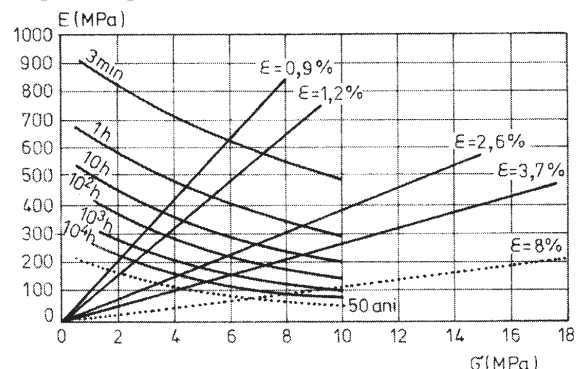


Fig. 1. Corelația modul de relaxare E și tensiunea σ în funcție de timp și de deformația specifică ϵ datorată deformării secțiunii transversale a țevii [1]

Tabelul 1

SARCINA CRITICĂ DE FLAMBAJ PE "TERMEN SCURT" (3 MIN) și "TERMEN LUNG" (50 ANI) PENTRU PE LA 20°C

Tip polietilenă	Timp de solicitare	PN = 4 bar	PN = 6 bar	PN = 10 bar
		q_F , MPa		
HDPE80	3 min	0,25	0,18	-
	50 ani	0,07	0,04	-
HDPE100	3 min	-	0,17	0,70
	50 ani	-	0,04	0,18

* email: palupg@yahoo.com

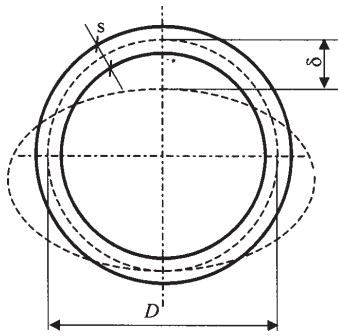


Fig. 2. Deformarea secțiunii transversale a țevii sub formă de elipsă

$$M = m \cdot \frac{\delta EI}{r^2} \quad (4)$$

în care m este factorul momentului de încovoiere și depinde de forma deformată a secțiunii țevii, $m=1,5$ pentru elipsă; δ - deformația țevii și reprezintă micșorarea diametrului mediu vertical al acesteia $D = 2r$ (fig. 2).

Variația lui m în funcție de rigiditatea țevii a constituit obiectul de cercetare în ultimii douăzeci și cinci de ani. Molin a fost primul care a arătat că factorul momentului de încovoiere depinde de rigiditatea țevii și de modul de poziționare al acesteia [3]. Valoarea lui m poate varia de la 1,5 în cazul țevii mai degrabă rigide la valori mai mari decât 5 în cazul țevilor foarte flexibile, poziționate într-o manieră necontrolată.

În cazul țevilor îngropate cu atenție în soluri omogene și a căror rigiditate pe termen scurt S_t este cuprinsă între 4 și 8 kN/mm², factorul momentului de încovoiere $m=3$. Pentru $S_t > 8$ kN/mm² valoarea lui m se apropie de 1,5 pe măsură ce S_t crește.

Valorile mari ale lui m corespund unor deformații mari necontrolate sau unor deformații locale accidentale ale țevilor. Astfel de deformații locale se pot produce fie la partea superioară fie la cea inferioară a țevilor cu rigiditate inelară insuficientă.

Influența pe care solul o are asupra stabilirii deformației țevii este evidențiată prin formula [1]:

$$\frac{\delta}{D} = \frac{C_1 q}{C_2 S_t + C_3 S_s}, \quad (5)$$

unde:

q este încărcarea verticală dată de teren;

S_s - factorul de rigiditate al solului bazat pe modulul de elasticitate secant al acestuia

E'_s ; C_1 , C_2 , C_3 sunt constante ce depind de modelarea acțiunii solului asupra țevii.

Se constată că turtirea verticală a țevii este funcție de rigiditatea acesteia și de rigiditatea solului în care aceasta este poziționată. Când una dintre ele scade cealaltă trebuie să crească pentru ca deformația țevii să rămână constantă.

Formula (5) este asemănătoare cu cea propusă de Spangler [4]

$$\frac{\delta_h}{D} = C_1 \cdot q \cdot \frac{b_1 r^3}{EI + 0,061 \cdot kr^4} \quad (6)$$

unde:

δ_h este deformația relativă orizontală a țevii (fig. 3);

b_1 - coeficient ce depinde de unghiul de așezare pe sol a țevii ($b_1 = 0,083$ pentru un unghi de așezare a țevii $\alpha = 180^\circ$ și $b_1 = 0,096$ pentru $\alpha = 90^\circ$);

k - coeficient de reacțiune orizontală a solului datorat deformații orizontale a țevii, $k = E' / r$;

C_1 - factor de corelare a creșterii în timp a deformației țevii cu micșorarea rezistenței de susținere a solului. În figura 3 este prezentată presiunea exercitată de sol asupra țevii cum a fost stabilită de Spangler. Considerând pentru o deformare pe termen scurt $D_1 = 1$ și $b_1 = 0,1$, corespunzător unui unghi de așezare de 65° , folosind relația (5) pentru S_t formula (6) devine:

$$\frac{\delta_h}{D} = \frac{0,1 \cdot q}{8 \cdot S_t + 0,061 \cdot E'_s} \quad (7)$$

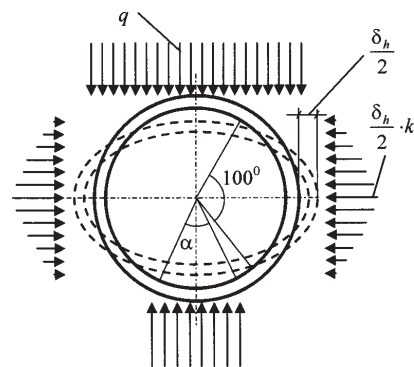


Fig. 3. Modul de distribuție a presiunii solului asupra țevii propus de Spangler

În tabelul 2 sunt redare ecuațiile precizate în diferite normative naționale pentru calculul deformației relative a țevii sub acțiunea solului.

Valoarea modulului secant E_s pentru un sol granular determinată prin teste de laborator este reprezentată în figura 5 [1]. Pentru argile tari E_s poate varia între 300 kPa și 2000 kPa.

Deformația maximă verticală a țevii se calculează, adăugând la valoarea teoretică calculată cu una din relațiile (8) ... (11), influența gradului de supraveghere a procesului de instalare și influența neuniformității patului de așezare:

Tabelul 2

FORMULELE DE CALCUL ALE DEFORMĂRII RELATIVE A SECȚIUNII TRANSVERSALE A ȚEVILOR DE HDPE SUB ACȚIUNEA SOLULUI CONFORM CU CÂTEVA NORME NAȚIONALE

Metoda de calcul	Relația de calcul	Obs.
Suedeză [7]	$\frac{\delta}{D} = q \cdot \frac{Cb_1 - 0,083 \cdot K_0}{8 \cdot S_t + 0,061 \cdot E'_s}$ (8)	K_0 - coeficientul presiunii exercitate de sol când conducta nu se deformează. Uzual $K_0 = 0,5$ [6] (fig. 4)
Engleză [8]	$\frac{\delta}{D} = q \cdot \frac{0,1}{8 \cdot S_t + 0,061 \cdot E'_s}$ (9)	
Franceză [9]	$\frac{\delta}{D} = q \cdot \frac{b_1 - 0,083 \cdot K_0}{8 \cdot S_t + 0,122 \cdot E'_s}$ (10)	
Germană [10]	$\frac{\delta}{D} = q \cdot \frac{0,083(q - q_h)}{8 \cdot S_t + 0,044 \cdot E'_s}$ (11)	q_h este presiunea orizontală a cărei distribuție este similară cu cea redată în figura 4.

Tabelul 3
VALORI ORIENTATIVE PENTRU COEFICIENȚII I_f și P_f [1]

Condiții de pozare a conductei	I_f %	Natura patului conductei	P_f , %	
			Execuție atentă	Execuție normală
Conductă pozată în șanț neregulat - fără supraveghere - cu supraveghere	1-2	Fără supraveghere - fără pietre pe fundul șanțului - sol cu pietre sau roci	2	4
	0		3	5
Trafic intens și $H < 1,5$ m	1-2	Cu supraveghere - fără pietre pe fundul șanțului - sol cu pietre sau roci	1	2
Compactarea umpluturii de deasupra conductei cu echipament greu $> 0,6$ kN	0,1		2	3

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_{\max} = \left(\frac{\delta}{D}\right)_q + I_f + P_f \quad (12)$$

în care:

$(\delta/D)_{\max}$ este deformația relativă maximă;

$(\delta/D)_q$ - deformația relativă teoretică calculată produsă de sol și de trafic;

I_f - factorul metodei de instalare folosite;

P_f - factorul neuniformității patului.

Valorile lui I_f și P_f sunt empirice și depind în principal de: forma anșului; trafic peste conductă; tipul echipamentului de compactare și metoda de compactare; gradul de nivelare al patului; numărul și calitatea supervisorilor lucrării; îndemânarea personalului care participă la instalarea conductei. În tabelul 3 sunt redată valori orientative pentru acești doi coeficienți.

Deformația țevii calculată cu relația (12) reprezintă deformația țevii pe termen scurt. Se știe însă că deformația țevilor flexibile crește în timp și ea depinde de mai mulți factori. Trebuie să treacă ceva timp până când încărcarea dată de sol să fie maximă și patul de așezare să se compacteze. Pe baza multor studii efectuate [1,2,3] s-a ajuns la concluzia că deformația țevii încetează după 2-3 ani când solul s-a stabilizat. După această perioadă deformația țevii poate fi de două ori mai mare decât deformația pe termen scurt. Dacă se considera că factorul metodei de instalare folosite I_f și factorul neuniformității patului P_f rămân constanți în timp, deformația pe termen lung a țevii se calculează cu relația:

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_{L,\max} = \left(\frac{\delta}{D}\right)_{qL} + I_f + P_f \quad (13)$$

unde $(\delta/D)_{qL}$ este deformația relativă a țevii pe termen lung și corespunde deformației țevii pe termen scurt multiplicată cu un coeficient C_L care variază între 1,5 și 2,0:

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_{qL} = C_L \left(\frac{\delta}{D}\right)_q \quad (14)$$

Din cele prezentate reiese că țevile de polietilenă îngropate prezintă o abatere de la forma circulară, fapt care influențează valoarea presiunii de flambaj.

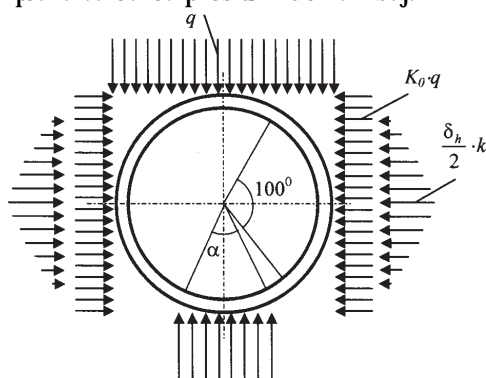


Fig. 4. Modul de distribuție a presiunii solului asupra țevii propus de Molin

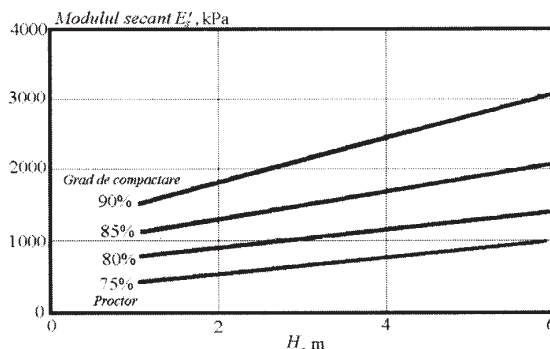


Fig. 5. Variația modului secant pentru sol granular în funcție de adâncimea de pozare [1]

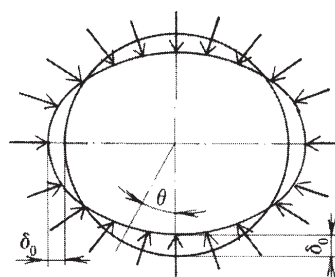


Fig. 6. Abaterea de la circularitate

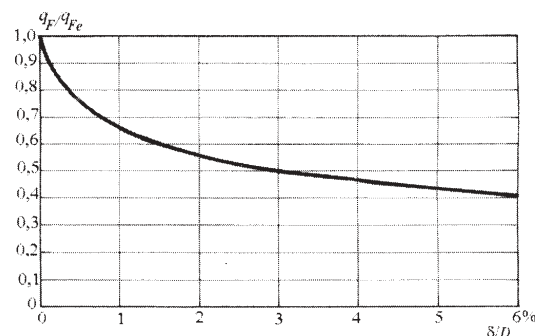


Fig. 7. Influența deformației relative δ/D asupra sarcinii de flambaj q_F

Pentru punerea în evidență a abaterii de la forma circulară a secțiunii țevii asupra presiunii de flambaj, se consideră că turtirea δ într-o secțiune curentă corespunzătoare unghiului la centru θ (fig. 6) are expresia:

$$\delta(\theta) = \delta_0 \cos 2\theta. \quad (15)$$

În această situație tensiunea maximă care se dezvoltă în peretele țevii se determină cu relația [11]:

$$\sigma_{\max} = \frac{q_F D}{2s} \left(1 + 6 \frac{\delta_0}{s} \frac{q_{Fe}}{q_{Fe} - q_F} \right) \quad (16)$$

în care δ_0 este abaterea maximă inițială de la forma

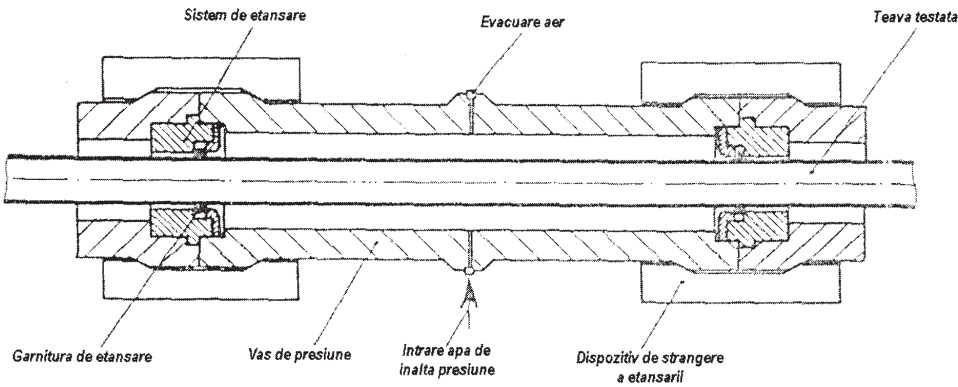


Fig. 8. Dipozitiv pentru solicitarea țevilor de presiune exterioară

Tabelul 4
VALORILE EXPERIMENTALE ALE PRESIUNII DE FLAMBAJ PENTRU
ȚEAVA HDPE SDR 11 (Ø63 x 5,8)

Nr. epruvetă	1	2	3	4	5	6
q_F , MPa	0,12	0,15	0,11	0,14	0,13	0,14

circulară, iar q_{pe} - presiunea exterioară de pierdere a stabilității pentru o țevă fără abateri de la forma circulară, care se calculează cu relația (1).

Folosind relațiile (1) și (16) în figura 7 este redată influența deformației relative δ/D asupra sarcinii de flambaj. Se poate observa că o deformație relativă 1% conduce la o reducere a sarcinii de flambaj cu 35%.

Determinări experimentale

Valorile sarcinii critice de flambaj pentru țevi de polietilenă utilizate la distribuția combustibililor gazoși, prezentate în tabelul 1, sunt determinate pe baza diagramei din figura 1 pentru țevi fără abateri de la forma circulară a secțiunii.

Pentru a obține date exacte referitoare la presiunea critică pentru țevi de PE s-au făcut determinări experimentale cu ajutorul unui dispozitiv proiectat și realizat în acest scop.

În realizarea dispozitivului s-au avut în vedere următoarele condiții:

- epruveta din țevă trebuie să aibă o lungime mai mare de trei ori diametrul exterior nominal dar nu mai mică de 250 mm;

- dispozitivul trebuie să realizeze expunerea la presiunea de încercare pe toată lungimea probei; el nu trebuie să împiedice deformațiile axiale sau radiale;

- suprafața exterioară a probei trebuie încărcată hidraulic suficient de lent pentru a permite citirea cu precizia a presiunii critice,

În figura 8 este prezentată incinta pentru realizarea presiunii exterioare, cu sistemele de etanșare și orificiile de introducere a lichidului sub presiune și de evacuare a aerului.

Lichidul de presurizare utilizat la determinările experimentale a fost apa, iar presiunea necesară a fost creată cu ajutorul unei pompe manuale cu piston, citirea efectuându-se cu ajutorul unui manometru.

Pentru determinările experimentale s-au utilizat epruvete din țevă de HDPE80 SDR11 (Ø 63x5,8). Pentru fiecare tub s-a măsurat ovalitatea constatându-se că valorile obținute se încadrează în valoarea maximă permisă de normative. Valorile presiunii exterioare la care țevile și-au pierdut stabilitatea, determinate experimental, sunt redată în tabelul 4.

Se constată că valorile presiunii critice de flambaj determinate experimental sunt apropiate de valoarea

presiunii critice corespunzătoare unei presiuni normale $P_N = 6$ bari (tabelul 1), presiune utilizată în cadrul rețelelor de distribuție a gazelor naturale la noi în țară pentru SDR11.

Adâncimea minimă de îngropare a acestor țevi la subtraversarea liniilor de tramvai este $H = 1$ m [10]. Dacă se consideră că țeava este îngropată într-un sol cu $\gamma = 18$ kPa, și $E_s = 1500$ kPa, iar traficul produce o presiune suplimentară $q_s = 50$ kPa, presiunea exercitată de sol este $q = 0,066$ MPa. Se constată că această valoare este cu mult mai mică decât presiunea critică de flambaj determinată experimental.

Cu aceleași date, pentru aceeași țevă SDR11 (Ø 63x5,8), folosind relația (8) în care $C = 1$ și $b_s = 0,083$ se obține o deformație relativă a secțiunii țevii $(\delta/D) = 0,33\%$. Dacă se consideră $I_s = 0,1\%$ și $P_s = 1\%$ (tabelul 3) rezultă o deformație maximă relativă a secțiunii țevii pe termen scurt $(\delta/D) = 1,43\%$, iar pe termen lung $(\delta/D)_{ql} = 2,86\%$ dacă $C_L = 2$.

Folosind diagrama din figura 7 rezultă o sarcină critică de flambaj pe termen scurt $q_F = 0,04$ MPa, iar pe termen lung $q_{FL} = 0,033$ MPa, valori mai mici decât cele precizate în tabelul 1.

Concluzii

În lucrare este prezentată o metodă de calcul a sarcinii critice de flambaj a țevilor de polietilenă ale conductelor îngropate care ia în considerație deformarea secțiunii transversale a țevilor ca urmare a acțiunii solului. Pe baza studiului efectuat și a determinărilor experimentale s-au desprins următoarele concluzii:

- Ca urmare a rigidității inelare mici a țevilor de polietilenă, sub acțiunea presiunii exercitate de sol, secțiunea transversală a țevii se deformează, mărirea deformației relative δ/D (micșorarea diametrului vertical al secțiunii/diametrul mediu al acesteia) depinzând de mai mulți factori cei mai importanți fiind: presiunea exercitată de sol, timpul și nivelul de solicitare;

- Influența deformației relative δ/D asupra sarcinii critice de flambaj este semnificativă și ea trebuie luată în considerare atât pe termen scurt cât mai ales pe termen lung;

- În cazul țevilor de polietilenă utilizate în cadrul rețelelor de distribuție a gazelor naturale riscul de pierdere a stabilității inelare, atunci când din anumite motive nu există presiunea interioară, este scăzut deoarece: a) adâncimea de poziționare este relativ mică (sub 1 m); b) raportul

dimensional standard dintre diametrul exterior al țevii și grosimea peretelui $SDR = D/s$ este relativ mic (11 sau 17,6). Presiunea critică de pierdere a stabilității crește odată cu creșterea lui SDR cum este de exemplu cazul țevilor utilizate la colectarea apelor reziduale la care evaluarea presiunii exercitate de sol, a deformației relative a secțiunii transversale și a sarcinii critice de flambaj este foarte importantă.

Bibliografie

1.JANSON, L-E., Plastic pipe for water supply and sewage disposal, Borealis, Boras, 1996
2.JANSON, L.E., Investigation of the long-term creep modulus for buried polyethylene pipes subjected to constant deflection, Proc.Int,Conf,Advances in Underground Pipeline Engineering, ASCM, Madinson, USA, 1985

3.JANSON, L, E., NUVG 1970, The Swedish Plastic Federation, Stockholm, 1973
4.SPANGLER, M.G., The structural design of flexible pipe culverts, Iowa Eng,Exp, Stat, Bul, 153, 1941
5.JANSON, L,-E., MOLIN, J., Practical experience with buried pipes, 2nd Int, Plastic Pipe Symp, Southampton, 1972
6.MOLIN, J., Flexible pipeburied In clay, Proc.Int,Conf,Underground Plastic Pipe, ASCE, New Orleans, USA, 1981
7.*** VAV P70, Buried Gravity Sewer Plastics Pipes, Stockholm, 1992
8.*** BS 8005 Part 1, Guide to New Sewerage Construction, British Standards Institution, 1987
9.*** Cahier des clauses techniques generales applicable aux matches publics de travaux: Fasicule 70 et 71
10.*** Norme tehnice pentru proiectarea și executarea sistemelor de alimentare cu gaze naturale, NT-DPE-01/2004
11. TIMOSHENKO, S., Théorie de la stabilite elastiqué, Paris & Liège, 1947

Intrat în redacție: 26.05.2007