

Metode moderne de evaluare a calității rețelelor de conducte realizate din materiale termoplastice

Modern methods to assess the quality of thermoplastic pipelines

A. Murariu – ISIM Timișoara

Cuvinte cheie

Materiale termoplastice, Polietilenă, Conducte, Încercarea la presiune, Defecte artificiale, Tranziție ductil – fragil, Durata de viață, Controlul calității, Epruvete, Sudare cap la cap.

1. Considerații generale privind durata de viață a țevilor din polietilena, din componența rețelelor de transport fluide sub presiune

Polietilena este utilizată în diferite aplicații. Una dintre cele mai răspândite utilizări de lungă durată a polietilenei de înaltă densitate este confecționarea de țevi de transport fluide sub presiune.

În general după preț și durata de livrare, cea mai frecventă întrebare despre un produs este „cât ține?”. Durata de viață așteptată este de mai mulți ani, în condiții de exploatare ce pot fi complexe. În cazul produselor de tip țevi din PE situația este complicată întrucât intervin un număr ridicat de agenți de degradare, diferite condiții de exploatare și materiale plastice cu proprietăți semnificativ diferite.

Îmbătrânirea materialelor plastice, implicit comportarea pe termen lung a acestora este un domeniu actual de studiu, în vederea găsirii unor principii de proiectare corecte. În practică, materialele plastice utilizate în condiții corecte de exploatare oferă o excelentă comportare de lungă durată [1].

În cazul polietilenei, orice sortiment nou înainte de prezentarea pe piață a fost complet analizat și clasificat [2]. Acest lucru se realizează prin încercări accelerate la presiune în condiții de laborator. Rezultatele obținute în urma încercărilor sunt prelucrate statistic în vederea aprecierii comportării în timp a acestor noi materiale. Metoda utilizată pentru această estimare implică așa-numitele curbe de regresie, bazate pe relația timp-temperatură (Eyring, Arhenius) și pe metode de analiză și extrapolare a datelor [3].

În general se consideră că îmbinările sudate sunt „verigile slabe” în orice sistem de conducte. Sudarea cap la cap cu element încălzitor este o metodă uzuală utilizată la îmbinarea țevilor din polietilenă din componența infrastructurii îngropate aferentă rețelelor de transport apă sau gaz.

În procesul de îmbinare întrucât majoritatea acestor îmbinări se face pe teren, nu întotdeauna este posibil să se asigure condiții ideale de mediu, iar parametrii procedurii de sudare nu sunt întotdeauna urmați cu strictețe. Vântul sau alți factori externi

Keywords

Thermoplastics, Polyethylene, Pipelines, Pressure Test, Artificial Defects, Brittle Ductile Transition, Lifetime, Quality control, Specimens, Butt Welding.

1. General considerations regarding the lifetime assessment of polyethylene pipes for pressurized piping systems

Polyethylene is used in various applications. One of the most common long-term usage of high density polyethylene is the fabrication of pipes for pressurized fluids' transportation.

Generally, considering the price and delivery time, the most frequently asked question is „how long does it hold?” The expected in-service life is of many years, under exploitation conditions that might be complex. In the case of the polyethylene pipe-type products the situation is complicated because of the intervention of many degradation agents, different exploitation conditions and plastic materials with significantly different properties.

Ageing of plastic materials, implicitly their long-term behaviour, is presently a research domain, aiming to find some correct design principles. In practice, the plastic materials that are used under correct exploitation conditions offer an excellent long-time behaviour [1].

In the case of polyethylene, any new product was completed analyzed and classified before been presented on the market [2]. This is achieved by accelerated pressure tests in laboratory conditions. The results that are obtain during the test are statistically process in view of assessing the behaviour of these new material in time. The method use for this assessment involves the so called regression curves, based on the time-temperature relation (Eyring, Arhenius) and on data extrapolation analyses methods [3].

Generally, one does consider that the welded joints are the weakest elements in any pipeline. Butt welding with heated tools is a usual method utilized for joining polyethylene pipes from the components of the buried infrastructure afferent to the water or gas transportation system.

During the ageing process, due to the fact that the majority of this joints are realized in the field, it is not always possible to ensure ideal environment conditions and the parameter of the welding procedure are not always strictly followed. Wind and other external factors may interfere and lead to the contamina-

pot interveni și conduce la contaminarea suprafețelor de sudat ale țevilor sau ale elementului încălzitor, cu praf, sol, apă sau grăsimi [4].

În plus, în cazul țevilor de apă, s-au constatat cedări premature ca urmare a fenomenului de oboseală, întrucât acestea sunt supuse la solicitări ciclice prin variația presiunii interne, ca urmare a cererilor variabile din sistem. Ca urmare, sunt în curs de elaborare metode moderne de evaluare a inițierii și propagării lente a imperfecțiunilor din țevile din polietilenă supuse solicitărilor ciclice, pe baza conceptelor specifice mecanicii ruperii [5].

Recent în unele țări dezvoltate în cazul rețelelor de transport gaz și produse petroliere, au fost adoptate noi directive [6] de proiectare a sistemelor de conducte din PE, coduri ce impun utilizarea la calculele de dimensionare a unor coeficienți de siguranță ce iau în considerare specificul aplicației, materialul utilizat și temperatura de funcționare.

Studierea comportării a materialelor termoplastice destinate construcției rețelelor de transport fluide sub presiune, în diverse condiții de exploatare, este o preocupare continuă în scopul creșterii siguranței în exploatare.

În prezenta lucrare sunt analizate rezultatele programelor experimentale efectuate în scopul evaluării caracteristicilor mecanice de lungă durată a unor țevi din polietilenă, utilizate la construcția rețelelor de distribuție a gazelor naturale.

Se analizează comportarea materialului în prezența unor defecte simulate [7] și efectul condițiilor de încercare asupra principalelor caracteristici de defect de material, în scopul evaluării comportării în funcționare a produsului, respectiv pentru stabilirea gradului în care condițiile de exploatare favorizează cedarea componentei după un mecanism ductil sau fragil în condiții de solicitare diferite.

2. Program experimental în vederea evaluării degradării materialelor termoplastice de tip PE

2.1. Condiții de efectuare a programului experimental

În vederea estimării influenței în timp a condițiilor de solicitare asupra caracteristicilor mecanice la țevi și îmbinări sudate de țevi din polietilenă de înaltă densitate s-a conceput un program experimental care cuprinde atât încercări mecanice distructive cât și analize macroscopice.

Pentru experimentări s-au utilizat tronsoane de țevă din PE 80 A32×3mm, SDR 11, GAZ. Din aceste tronsoane de țevă s-au prelevat epruvetele destinate programului experimental.

2.2. Metodele de examinare /încercare

Programul experimental cuprinde atât încercări la presiune interioară la temperatură constantă cât și analize macroscopice efectuate pe epruvetele încercate la presiune interioară.

Încercarea la presiune interioară la temperatură constantă s-a efectuat în scopul determinării timpului până la rupere a epruvetei, în condiții de încercare date (presiune, temperatură, mediu), identificarea caracterului și a poziției ruperii.

Examinările macroscopice și măsurătorile dimensionale au ca scop studiul evoluției imperfecțiunilor simulate prin măsurarea dimensiunilor geometrice ale acestora înainte și după cedarea țevii, evidențierea caracterului ruperii, orientarea defectelor generate în cursul încercării și dimensionarea acestora în secțiune transversală și longitudinală.

tion of the surfaces to be weld of the pipes or of the heated tools with dust, soil, water or grease [4].

More, in the case of water pipes, premature failures have been observed following the fatigue phenomenon because these are subjected to cyclic loads by variation of internal pressure following the variable demand for the system. As a consequence, modern methods to evaluate initiation and flaw propagation of the flaw in the polyethylene pipes subjected to cyclic loads are under development based on the concepts that are specific to fracture mechanics [5].

Recently, in some developed countries, in the case of gas and oil product transportation systems, new design directives [6] for the PE pipes system have been adopted, codes that impose the use of some safety coefficients that take into consideration the specific application, the materials used and the functioning temperature, for the dimensional computation.

Studying the behaviour of the thermoplastic materials destined to the construction of pressure fluids transportation systems, under various exploitation conditions, is a continuous concern aiming to increase service safety.

In this paper the results of the experimental programs carried out to evaluate the long-term mechanical characteristics of certain polyethylene pipes, used for the construction of the natural gas distribution system, are analysed.

The behaviour of the material in the presence of some simulated flaws [7] is analysed, as well as the effect of the testing conditions on the main material defects characteristics, aiming to evaluate the in-service behaviour of the product, respectively the degree in which the exploitation conditions do allow component's failure following a brittle or ductile mechanism on the different loading conditions.

2. Experimental program for the evaluation of the PE type thermoplastic materials degradation

2.1. Experimental program conditions

To estimate the influence in time of the loading condition on the mechanical characteristics of the high density polyethylene pipes and butt welded joints of these pipes, an experimental program was conceived that take into account both destructive mechanical tests and macroscopic analyses.

For experimental purposes sections cut of PE 80 A32×3mm, SDR 11, GAS pipe were used. The sample destined to the experimental program were extracted from the above mentioned sections.

2.2. Testing method

The experimental program consists both of internal pressure tests at constant temperature and of macroscopic analyses carried out on the specimens tested on the internal pressure.

Internal pressure test at constant temperature was carried out aiming to determinate the bursting period of the sample on the given test conditions (pressure, temperature, environment), the identification of the fracture character and the bursting position.

The macroscopic examination and the dimensional measurements aim to study the evolution of the simulation flaws by measuring their geometrical dimension before and after the failure of the pipe, highlighting the character of the fracture, ori-

2.3. Luarea probelor. Volumul încercărilor

Probele s-au prelevat în mod aleatoriu dintr-un tronson de țevă cu lungime suficientă, unele după altele. Extremitățile acestora au fost pregătite astfel încât suprafața frontală a acestora să fie netedă și perpendiculară pe axa țevii, pentru a se putea realiza o etanșare perfectă. Epruvetele au fost marcate în vederea identificării. S-au utilizat două categorii de epruvete:

- epruvete tip tronson, fără imperfecțiuni
- epruvete tip tronson, cu defecte simulate având adâncimea cuprinsă între 0,15 și 1,5 mm, respectiv o adâncime caracteristică A între 5 și 50 %.

$$A = 100a / e [\%] \quad (1)$$

unde: a – adâncimea imperfecțiunii
e – grosimea peretelui țevii

S-au utilizat epruvete fără imperfecțiuni pentru stabilirea caracteristicilor mecanice de referință ale materialului de bază și a modului de variație a acestora în funcție de condițiile de solicitare (temperatură, presiune, mediu). Astfel, într-o primă etapă s-au efectuat încercări mecanice la presiune și temperatură constantă (80°C), pe epruvete fără imperfecțiuni extrase din tronsoane de țevă de PE 80 cu diametrul nominal DN = 32 mm, grosimea peretelui s = 3 mm și lungime tronson l = 300 mm. Mediul de încercare a fost apa, încercarea fiind de tip „apă în apă”.

Pentru stabilirea influenței mediului asupra rezistenței la presiune interioară a țevilor din PE, s-a repetat programul experimental, utilizând ca mediu de încercare aerul cald, încercarea fiind de tip „apă în aer”.

În etapa a doua a programului experimental s-au efectuat încercări în vederea stabilirii comportării la solicitări de presiune interioară la temperatură constantă a țevilor din PE în prezența unor defecte simulate. Simularea defectelor s-a realizat prin tăiere cu fascicul LASER, imperfecțiunile rezultate fiind asimilate ca defecte plane.

2.4. Aparatură

Încercările la presiune interioară s-au realizat pe o instalație de încercare informatizată ce asigură menținerea automată a parametrilor de încercare prescriși (presiune și temperatură).

Instalația utilizată a permis realizarea încercărilor în două variante: „apă în aer” și „apă în apă”, având în componență:

- Dispozitive de asigurare a etanșeității epruvetelor de încercare și racorduri flexibile de legătură la modulul de presurizare.
- Modul de realizare și monitorizare a presiunii de încercare ce asigură o abatere maximă de +2 ÷ -1% pe durata încercării
- Baie termostată și cuptor de încercare, ce permite menținerea temperaturii constante, cu o abatere maximă de ± 1 °C.

3. Rezultate experimentale

3.1. Încercarea la presiune la temperatură constantă

Din punct de vedere a caracterului ruperii, prin încercarea la presiune s-a pus în evidență două tipuri de ruperi: fragilă și ductilă.

Ruperea ductilă apare la presiuni mari după perioade scurte de solicitare. În acest caz ruperea se produce prin umflarea țevii concomitent cu subțierea peretelui acesteia până la cedare.

entering the flaws generated during the test and there sizing in transversal and longitudinal sections.

2.3. Sampling. Number of tests

The samples were extract in an random way from a pipe section sufficiently long, one after the other. The extremities were prepared so that their frontal surface to be smooth and perpendicular on the pipe axis, to allow a perfect tightness. The sample was marked to allow identification. Two categories of sample were used:

- section-type samples, without imperfections
- section-type samples, with simulated flaw having the depth between 0.15 and 1.5 mm, respectively a characteristic depth A between 5 and 50 %.

$$A = 100a / e [\%] \quad (1)$$

where: a – notch depth
e – pipe wall thickness

Flawless samples have been used to establish the mechanical references characteristics of the base material and that of their variation depending on the loading condition (temperature, pressure, environment). So, one first stage mechanical test under pressure and constant temperature have been carried out, on flawless samples extracted from PE 80 pipe sections having a nominal diameter DN = 32 mm, wall thickness e = 3mm and section length l = 300 mm. The test environment was water, the test being of “water in water” type.

To establish the influence of the environment on the resistance at inner pressure of the PE pipes, the experimental program was repeated using hot air as testing environment, the test being “water in air” type.

In the second stage of the experimental program tests have been carried out to establish the behaviour on the inner pressure loads at constant temperature of the PE pipes, in the presence of simulated flaws. The flaws were simulated by LASER cutting, the resulting flaws been assimilated as planar flaws.

2.4. Equipment

The inner pressure test were carried out on a computerized testing equipment which ensures an automated maintaining of the prescribed testing parameter (pressure and temperature).

This equipment allowed the performing of test in two cases: „water in air” and „water in water”, being composed of:

- Devices that ensure tightness of the test samples and flexible connections to the pressure module
- A module that allowed to prescribe and control the test pressure, which ensures a maximal deviation of +2 ÷ -1% during the test
- Constant temperature bath and test oven, witch allowed maintaining constant temperature with a maximal deviation of ± 1 °C.

3. Testing results

3.1. Pressure test under constant temperature

From the point of view of the fracture character, the pressure test showed two types of fractures: brittle and ductile.

Ductile fracture appears at high pressures after short period of loading. In this case fracture takes place by pipe growing in same time with a decrease of its wall thickness until bursting.

Fisura produsă are o direcție perpendiculară pe axa țevii (figura 1).

Se remarcă faptul că în cazul atât în cazul ruperilor ductile cât și a celor fragile, materialul de bază al țevii a cedat întotdeauna în zona marcajelor cu pigment galben ale țevilor (ce indică tipul acestora – GAZ), fapt ce ne duce la concluzia că marcarea prin această metodă afectează calitatea țevilor de gaz, afirmație valabilă pentru lotul de țevi încercat.



Figura 1. Rupere ductilă – Material de bază/
Figure 1. Ductile fracture – Base material

Ruperea fragilă apare după durate mari de încercare, cedarea țevii se produce fără o deformare importantă a acesteia, prin dezvoltarea de fisuri ce au o direcție longitudinală în raport cu axa țevii. Aceste fisuri sunt foarte fine și se închid după eliberarea presiunii din țevă (figura 2).

Și în cazul probelor cu defecte simulate au fost evidențiate cele două tipuri de ruperi. Ruperea ductilă s-a produs la intervale scurte de solicitare, materialul din dreptul creștăturii fiind puternic deformat și expulzat în afara (figura 3). Deformarea țevii (umflarea în zona centrală) este cu atât mai mare cu cât adâncimea defectului simulat este mai mică (figura 4).

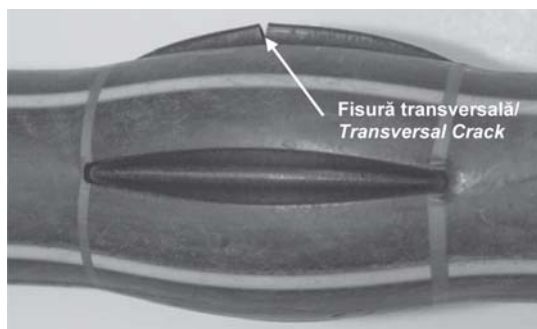


Figura 3. Rupere ductilă – Epruvetă cu creștătură prelucrată prin tăiere cu LASER: a) adâncime creștătură 0,15 mm;
b) adâncime creștătură 1,5 mm/

Figure 3. Ductile fracture – Specimen with simulated defect created by LASER cutting: a) longitudinal notch 0.15 mm depth;
b) longitudinal notch 1.5 mm depth

În cazul probelor cu creștături (defecte simulate prin tăiere cu fascicul LASER), la durate mari de încercare au fost evidențiate fisuri transversale în raport cu axa țevii dezvoltate de la baza rădăcina fisurii preexistente (figura 5).

În figura 6 se prezintă două curbe de tranziție obținute pe cale experimentală, care delimitează comportarea la rupere a țevilor cu imperfecțiuni simulate în două zone caracteristice: zonă cu ruperi fragile și zonă cu ruperi ductile.

3.2. Analiza macroscopică și măsurătorile dimensionale

La măsurătorile dimensionale și la examinarea macroscopică în secțiune longitudinală și transversală a epruvetelor încercate s-au constatat următoarele:

The resulting crack has a direction which is perpendicular on the pipe's axis (figure 1).

One can see that both in the case of ductile fractures and of brittle fractures, the base material of the pipes broke always in the area of the yellow markings of the pipes (which indicated their type – GAS), which leads to the conclusion that marking by this method affects the quality of the gas pipes, statements that is valid for the tested lot of pipes.

Brittle fracture appear after a long period of testing, the pipe failure taking place without an important deformation of the pipe, by the development of flaws heaving longitudinal direction along the pipes axis. This crack are very fine and they close after the pressure from the pipe is released (figure 2).

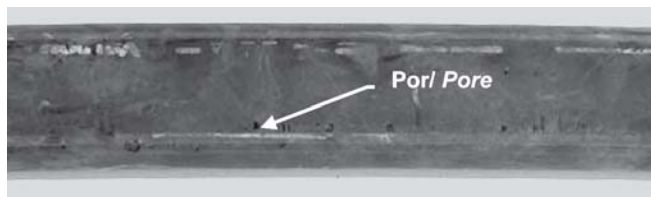


Figura 2. Spargere – Material de bază/
Figure 2. Brittle fracture – Base material

In the case of sample with simulated flaws the two types of fracture have been highlighted as well. Ductile fracture took place at short loading interval, the material near the crack being highly deformed and ejected to the outside (figure 3). The deformation of the pipe (growing in the central zone) is larger as the depth of the simulated flaw is smaller (figure 4).

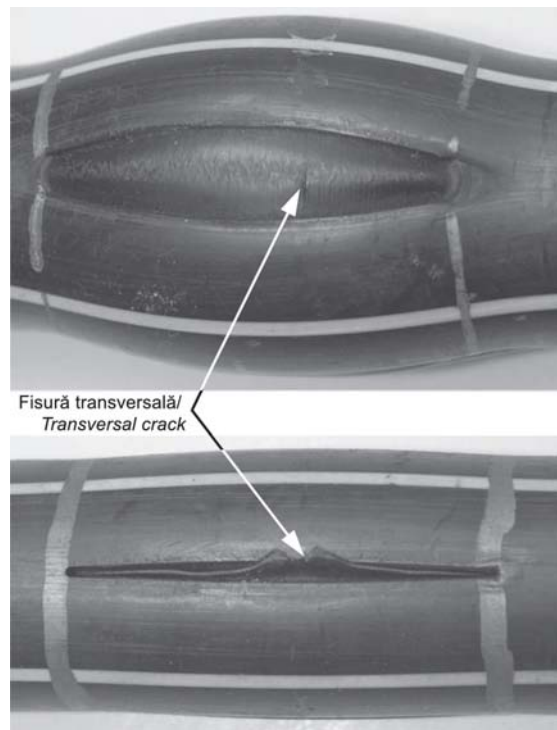


Figura 4. Rupere ductilă – Modul de deformare a țevii funcție de adâncimea creștăturii/

Figure 4. Ductile Fracture – The distortion of the pipes in accordance with notch depth

In the case of the notched samples (flaws simulated by LASER cutting), at long periods of testing cracks that were transversal

- Subțierea ligamentelor inițiale până la fisurarea peretelui țevii.
- Fisura simulată se dezvoltă atât pe direcție longitudinală cât și transversală, producând o lățire a zonei fisurate, concomitent cu subțierea ligamentului inițial;

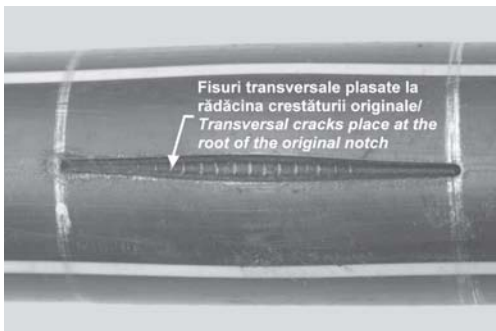


Figura 5. Rupere fragilă – Epruvetă cu creștătură prelucrată prin tăiere cu LASER/
Figure 5. Brittle fracture – Specimen with simulated defect created by LASER cutting

- Evoluția fisurii în raport cu adâncimea inițială se prezintă în figura 7. Dezvoltarea fisurilor este mai accentuată pe direcție transversală în raport cu cea longitudinală, fapt ce conduce la cedarea după această direcție.

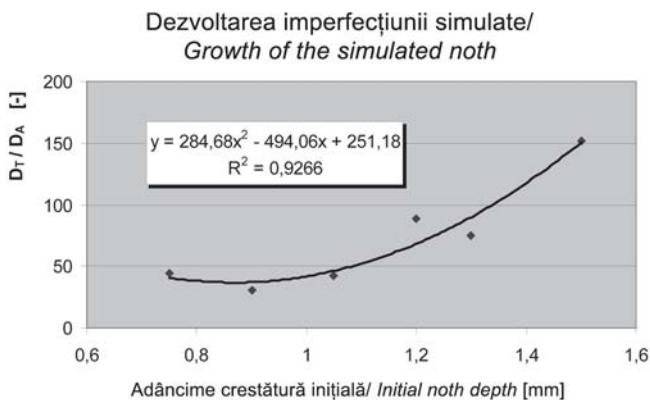


Figura 7. Evoluția defectelor tip creștătură simulate, la încercarea la presiune/
Figure 7. Growth of the simulated notch at the pressure test

- În cazurile studiate ruperea are un caracter ductil. În acest caz, fisurile care au produs străpungerea sunt perpendiculare pe generatoarea țevii; zona fisurii simulate se alungește concomitent cu reducerea grosimii peretelui țevii.

4. Concluzii

- Din punctul de vedere al caracterului ruperii, experimental prin încercarea la presiune s-a pus în evidență două tipuri de ruperi: fragile și ductile.
- Ruperea ductilă apare la presiuni mari după perioade scurte de solicitare. Ruperea se produce prin umflarea țevii concomitent cu subțierea peretelui acesteia până la cedare. Fisura produsă are o direcție perpendiculară pe axa țevii.
- Ruperea fragilă apare după durate mari de încercare, cedarea țevii se produce fără o deformare importantă a acesteia, prin dezvoltarea de defecte pe direcție longitudinală în raport

against the pipe's axis were highlighted, developed from the basis of the pre-existing crack root (figure 5).

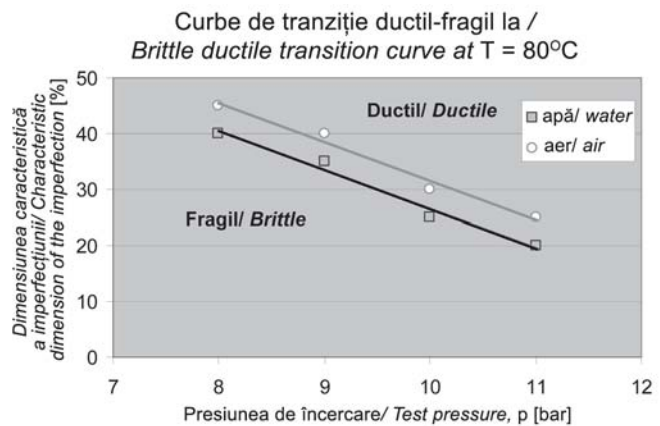


Figura 6. Curbe de tranziție ductil – fragil la temperatura T=80°C/
Figure 6. Brittle Ductile Transition Curves at T=80°C

Figure 6 shows two transitions curve obtained experimentally, which separated the fracture behaviour of the pipes with simulated notches into two characteristic zones: brittle fracture zone and ductile fracture zone.

3.2. Macroscopic analyses and dimensional measurements

During the dimensional measurements and macroscopic examinations along the longitudinal and transversal section of the tested samples, the following conclusion were obtain:

- A decrease of the initial ligaments' thicknesses until the cracking of the pipes wall
- The simulated crack developed both on longitudinal and transversal directions, producing an increase of the width of the cracked zone, in the same time with the decrease of the initial ligament thickness
- The evolution of the crack compared to the initial depth is presented in figure 7. The development of the cracks is more pronounced on transversal direction compare to the longitudinal one, witch leads to failure following this direction.
- In the studied cases fracture has ductile character. In this case the cracks witch produced bursting are perpendicular on the pipe's generatrix; the zone of the simulated crack elongates in the same time with the decrease of the pipe's wall thickness.

4. Conclusions

- From the point of view of the character of the fracture, experimentally, by pressure testing two kinds of fracture have been highlighted: brittle and ductile
- Ductile fracture appears at high pressures after short loading intervals. Fracture takes place by pipe growth together with an decrease of the pipe's wall thickness until failure. The crack that is produced has a direction perpendicular on the pipe's axis.
- Brittle fracture appears after long periods of testing, the pipe's failure taking place without its important deformation, by flaws development on a longitudinal direction along the pipes axis. These defects are very fine, and close after the pressure is release from the pipe.
- The two kinds of fracture were highlighted also in the case of the specimens with simulated flaw. Ductile fracture of

cu axa țevii. Aceste defecte sunt foarte fine și se închid după eliberarea presiunii din țeavă.

- Cele două tipuri de ruperi s-au evidențiat și în cazul probelor cu imperfecțiuni simulate. Ruperea ductilă a țevilor cu defecte simulate s-a produs la intervale scurte de solicitare, materialul din dreptul creștăturii fiind puternic deformat și expulzat în afară. Deformarea țevii (umflarea în zona centrală) este cu atât mai mare cu cât adâncimea defectului simulat este mai mică.

- Ruperea fragilă a țevilor cu defecte simulate s-a produs după durate mari de încercare. Cedarea s-a produs datorită fisurilor transversale în raport cu axa țevii dezvoltate de la baza rădăcinii fisurii preexistente.

- Cu creșterea presiunii de încercare domeniul de rupere fragilă se restrânge, ruperea ductilă producându-se începând cu dimensiuni caracteristice A mai mici ale defectelor.

- În cazul polietilenei mediu de încercare / exploatare afectează comportamentul materialului. Încercarea tip apă în apă este mai severă, mediul de încercare apă conducând la restrângerea domeniului de rupere ductilă. Pentru un defect cu o dimensiune caracteristică dată, în apă ruperea fragilă apare la presiuni de încercare mai mici decât în cazul încercării în aer.

- Dimensiunea caracteristică A [%] a imperfecțiunilor afectează comportamentul de durată a materialului țevilor din polietilenă prin reducerea rezistenței tehnice de durată MRS, respectiv durata de exploatare în condiții de siguranță.

- Întrucât la lotul de țevi utilizat în cadrul programului experimental spargerile țevilor fără defecte simulate s-a produs în zona marcată cu galben (țevi pentru gaz), se apreciază că pigmentul utilizat pentru marcarea acestora afectează caracteristicile de rezistență a materialului. Se recomandă analizarea la producători a acestui fenomen pentru a nu fi afectate caracteristicile de durată a acestora prin această metodă de marcarea.

- În scopul verificării unor procedee de sudare, aprecierea calității îmbinărilor sudate de țevi cap la cap cu element încălzitor drept SD poate fi operativ efectuată prin încercări la presiune pe epruvete cu defecte simulate. De asemenea poate fi realizată optimizarea parametrilor procedurii de sudare prin încercarea simultană a diferitelor variante de tehnologii, luând ca referință rezultatele obținute pe epruvetele cu defecte simulate prelevate din materialul de bază al țevilor. Pentru o apreciere corectă a calității îmbinărilor sudate, alegerea dimensiunii critice de defect și a parametrilor de încercare trebuie să fie făcută astfel încât cedările să se producă în vecinătatea curbei de tranziție ductil – fragil.

Bibliografie/ References

[1] xxx: Plastic Pipe Institute TR-4/2006: HDB / HDS / SDB / PDB / MRS Listed Materials - PPI Listing of Hydrostatic Design Basis (HDB), Strength Design Basis (SDB), Pressure Design Basis (PDB) and Minimum Required Strength (MRS) Ratings for Thermoplastic Pipe Materials or Pipe, 2006, Washington DC, USA.

[2] xxx: ISO 12162:1995: Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications – Classification and designation – Overall service (design) coefficient

[3] xxx: ISO 9080:2003: Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation

the pipes with simulated flaw took place at short loading intervals, the material from the notch area been heavily deformed and ejected to the exterior. The pipe's deformation (growth of the central zone) is larger as the depth of the simulated defect is smaller.

- Brittle fracture of the pipes with simulated defect took place after long periods of testing. Failure took place due to the cracks that are transversal to the pipes axis, developed from the base of the pre-existing crack's root.

- By increases the test pressure, the brittle fracture domain is restricted, ductile fracture taking place starting with smaller characteristic dimension A of the defects.

- Considering polyethylene as test / exploitation environment affects the material's behaviour. The „water in water” type test is more severe, water as test environment leading to a restriction of the ductile-fracture domain. For a defect having a given characteristic dimension, in water brittle fracture appears at lower test pressure value compared to the case of testing in air.

- The characteristic dimension A [%] of the flaws affects the long term behaviour of the material of the polyethylene pipes by reducing the minimal resistance strength MRS, respectively the exploitation duration under safety condition.

- Because at the lot of pipes used in the experimental program the pipes bursting without simulated defects took place in the yellow marked area (Gas Pipes), one does consider that the pigment use for this marking affects the toughness characteristics of the material. One does recommend an analysis, at the producers, of this phenomenon so that the long term characteristics of the pipes should not be affected by this marking method.

- To verify some welding procedures, the assessment of the quality of the butt welded pipes with heated tools can be carried out by pressure tests on samples with simulated flaws. The optimisation of the welding procedure parameters can also be achieved by simultaneously testing different technological versions, taking as reference the results obtain on the samples with simulated defects extracted from the base material of the pipes. For a correct evaluation of the quality of the welded joint, the choice concerning the critical defect dimension and that of the testing parameters must be done so that failure will take place in the neighbourhood of the ductile-brittle transition curve.

[4] Zhao J.Q., Daigle L., Beaulieu. D: Effect of joint contamination on the quality of butt-fused high-density polyethylene (PEHD) pipe joints, Canadian Journal of Civil Engineering, vol.29, no.5, Oct. 2002, p.787-798

[5] Lang R.W., Pinter G., Balika W.: Konzept zur Nachweissführung für Nutzungsdauer und Sicherheit von PE-Druckrohren bei beliebiger Einbausituation, 3R International, Vulkan-Verlag GmbH, nr. 1-2, 2005, Essen, Germany

[6] xxx: EUB Directive 022: Use of Bimodal High-Density Polyethylene Pipe in Oil and Gas Service, August 5, 2005, Canada

[7] Murariu A.: Simularea imperfecțiunilor la sudarea prin topire cap la cap cu element încălzitor plan a țevilor din PEHD, BID-ISIM, 2005, nr. 1