



Universitatea  
Transilvania  
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea INGINERIE MECANICĂ

Ing. Dumitru Daniel SCĂRLĂTESCU

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL TUBURILOR DIN  
MATERIALE AVANSATE UTILIZATE ÎN  
REȚELELE DE ALIMENTARE CU APĂ**

**CONTRIBUTIONS TO THE STUDY OF PIPES  
MADE BY ADVANCED MATERIALS USED IN  
WATER SUPPLY NETWORKS**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific Sorin VLASE

BRAȘOV, 2019

D-lui (D-nei): .....

## COMPONENȚA

### Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov  
Nr. 10332 din 13.11.2019

PREȘEDINTE:	Prof.dr.ing. Adrian ȘOICA – Universitatea TRANSILVANIA din Brașov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing. Sorin VLASE – Universitatea TRANSILVANIA din Brașov
REFERENȚI:	Prof.dr.ing. Anton HADĂR – Universitatea Politehnica din București Prof.dr.ing. Ilare BORDEAȘU – Universitatea Politehmmica din Timișoara Prof.dr.ing. Ioan Călin ROȘCA – Universitatea TRANSILVANIA din Brașov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:

Data 13.12.2019, orele 11, sala CP8.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa Universitatea TRANSILVANIA din Brașov, B-dul Eroilor, nr.29

Totodată vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

## CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezumat
CAPITOLUL 1 INTRODUCERE.....	11	9
1.1 Actualitatea subiectului tezei. Utilitatea tuburilor pentru transportul fluidelor .....	11	9
1.2 Importanța subiectului tezei.....	13	10
1.3 Scopul și obiectivele tezei.....	13	11
1.4 Organizarea tezei.....	14	-
CAPITOLUL 2 STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII REȚELELOR DE ALIMENTARE CU APĂ.....	17	12
2.1 Scurt istoric al rețelelor de alimentare cu apă. Motivarea necesității existenței rețelelor de alimentare cu apă .....	17	12
2.2 Rețele moderne de alimentare cu apă în România .....	19	14
2.3 Elemente de calcul ale tubului .....	28	14
2.4 Solicitări în tuburile sub presiune.....	32	17
2.5 Materiale plastice folosite la fabricarea tuburilor.....	32	17
2.6 Elemente importante din rețeaua de alimentare cu apă.....	48	-
2.7 Concluzii .....	49	-
CAPITOLUL 3 STUDIUL REȚELELOR DE ALIMENTARE CU APĂ ALE MUNICIPIULUI BRAȘOV. TUBURI UTILIZATE ÎN REȚELELE DE ALIMENTARE CU APĂ .....	51	18
3.1 Proprietăți ale elementelor din rețeaua de alimentare cu apă a Municipiului Brașov.....	51	18
3.2 Schema tehnologică a rețelei de alimentare cu apă a Municipiului Brașov.....	53	20
3.3 Tipuri de tuburi din polietilenă de înaltă densitate (HDPE) folosite în rețelele de alimentare cu apă.....	55	21
3.4 Calculul analitic al forței hidrodinamice într-un cot de unghi $\alpha = 45^\circ$ .....	57	-

[35], [17].....		
3.5 Identificarea principalului mod de rupere ductilă al tuburilor HDPE.....	60	23
3.6 Concluzii.....	61	-
CAPITOLUL 4 DETERMINĂRI EXPERIMENTALE.....	62	23
4.1 Încercări la tracțiune.....	62	24
4.2 Încercarea la compresiune a epruvetelor decupate din tub HDPE $\Phi$ 90x6.....	68	28
4.3 Încercări la încovoiere.....	70	30
4.4 Sistematizarea rezultatelor încercărilor.....	75	34
4.5 Încercarea polietilenei de înaltă densitate (HDPE) la încovoiere prin metoda celor patru puncte.....	84	40
4.6 Încercarea polietilenei de înaltă densitate (HDPE) la solicitări ciclice tracțiune-compresiunii.....	88	42
4.7 Sistematizarea rezultatelor solicitărilor compuse tracțiune- compresiune.....	100	50
4.8 Concluzii.....	102	51
CAPITOLUL 5 ANALIZA CU METODA ELEMENTELOR FINITE A COTULUI ÎN MASIV DE ANCORAJ ȘI A TUBULUI PRESURIZAT ...	109	54
5.1 Generalități.....	109	54
5.2 Modelul structural al unui cot într-un masiv de ancoraj.....	109	54
5.3 Rezultate cot-masiv ancoraj.....	114	57
5.4 Cazul cotului DN 315 nesprrijinit în masiv de ancoraj.....	120	61
5.5 Rezultatele analizei cu MEF a cotului DN 315 nesprrijinit.....	122	62
5.6 Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu MEF în cazul cotului DN 315, îngropat în pământ și sprrijinit în beton.....	124	63
5.7 Deteriorarea tuburilor HDPE [92], [26].....	131	66
5.8 Analiza cu MEF a tubului HDPE-DN 315 presurizat.....	137	68
5.9 Rezultatele analizei tubului DN 315.....	139	69
5.10 Simularea ruperii tubului DN 315.....	143	71

5.11 Simularea ruperii tubului DN 90.....	147	73
5.12 Rezultatele analizei DN 90.....	148	74
5.13 Concluzii.....	148	75
CAPITOLUL 6 CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE DEZVOLTARE	150	75
6.1 Concluzii generale	150	75
6.2 Contribuții personale	151	76
6.3 Direcții de dezvoltare	151	77
6.4 Diseminarea rezultatelor	152	78
BIBLIOGRAFIE	155	79
ANEXE	166	83
Scurt Rezumat (romana/engleza)	184	83
CV	186	84

# CONTENT

	Pg. teza	Pg. rezumat
CHAPTER 1 INTRODUCTION .....	11	9
1.1 The Actuality of Ph Thesis Subject. The Utility of Fluids Transport Tubes...	11	9
1.2 The Importance of the Ph Thesis Subject .....	13	10
1.3 The Scope and Objectives of Ph Thesis .....	13	11
1.4 The Structure of Ph Thesis .....	14	-
CHAPTER 2 THE ACTUAL STAGE OF DEVELOPMENT FOR WATER SUPPLY NETWORKS .....	17	12
2.1 A Short Brief of Water Supply Networks History .....	17	12
2.2 Modern Water Supply Networks in Romania .....	19	14
2.3 Calculation Elements of the Tube .....	28	14
2.4 Loadings in Pressurized Tubes .....	32	17
2.5 Plastic Materials for Tubes Manufacturing .....	32	17
2.6 Important Elements in Water Supply Networks .....	48	-
2.7 Conclusions .....	49	-
CHAPTER 3 THE STUDY OF WATER SUPPLY NETWORK OF BRAȘOV COUNTY. TUBES USED IN WATER SUPPLY NETWORKS	51	18
3.1 Properties of the Elements from Brașov County Water Supply Network...	51	18
3.2 Technological Scheme of Brașov Water Supply Network .....	53	20
3.3 HDPE Tube Types Used in Water Supply Networks	55	21
3.4 Analytical Calculation of Hydrodynamic Force in an Elbow with $\alpha=45^\circ$ , [35], [17].....	57	-
3.5 The Finding of Main Mode Ductile Cracking for HDPE Tubes.....	60	23
3.6 Conclusions .....	61	-
CHAPTER 4 EXPERIMENTAL TESTS .....	62	23
4.1 Tensile Tests .....	62	24

4.2 Compression Test of Specimens Cutted from HDPE $\phi$ 90x6 Tube.....	68	28
4.3 Bending Tests.....	70	30
4.4 Arrangement of the Tests Results.....	75	34
4.5 Four Points Bending Test of HDPE.....	84	40
4.6 Cyclic Tests of HDPE.....	88	42
4.7 Arrangement of Cyclic Tests Results.....	100	50
4.8 Conclusions.....	102	51
CHAPTER 5 THE FEM ANALYSIS OF AN HDPE ELBOW IN A CONCRETE ANCHORING BLOCK	109	54
5.1 Generalities.....	109	54
5.2 Structural Model of an Elbow in an Anchoring Block.....	109	54
5.3 The Results Elbow – Anchoring Block.....	114	57
5.4 The Case of DN 315 Elbow Buried in Ground.....	120	61
5.5 The Results of FEM Analysis for Buried Elbow.....	122	62
5.6 Comparative Analysis of Obtained Results Using FEM for Buried and Anchored DN 315 Elbow	124	63
5.7 HDPE Tubes Breaking [92], [26].....	131	66
5.8 The FEM Analysis of HDPE DN 315 Pressurized Tube.....	137	68
5.9 The Results of FEM Analysis for DN 315 Tube.....	139	69
5.10 Cracking Simulation for DN 315 Tube.....	143	71
5.11 Cracking Simulation for DN 90 Tube.....	147	73
5.12 The Results of FEM Analysis for DN 90 Tube.....	148	74
5.13 Conclusions.....	148	75
CHAPTER 6 GENERAL CONCLUSIONS, ORIGINAL CONTRIBUTIONS AND DEVELOPMENT DIRECTIONS	150	75
6.1 General Conclusions	150	75
6.2 Personal Contributions	151	76
6.3 Development Directions	151	77
6.4 Results Dissemination	152	78

REFERENCES	155	79
ANNEXES	166	83
Abstract (romanian/english)	184	83
CV	186	84



# CAPITOLUL 1

## INTRODUCERE

### 1.1 Actualitatea subiectului tezei. Utilitatea tuburilor pentru transportul fluidelor

Lucrarea își propune să analizeze, din punct de vedere al calculului de rezistență, un element de bază din domeniul transportului lichidelor și anume *tubul*. Cercetările sunt îndreptate atât către studiul materialelor utilizate în fabricarea acestor elemente, cât și către calculul lor de rezistență, tuburile fiind în cazuri de solicitare standard.

Importanța rețelelor de alimentare cu apă este uriașă pentru omenire. Din acest motiv, obținerea unor soluții simple dar eficiente pentru practica inginerescă, la un preț de cost acceptabil, reprezintă un obiectiv de primă importanță pentru proiectant și justifică tematica studiată în cadrul tezei.

Utilizarea tuburilor este larg răspândită în transportul lichidelor, în mod special pentru transportul petrolului, gazelor dar și al apei necesare comunităților umane. Spre exemplu, doar pentru transportul petrolului și al gazelor, date din anul 2014 indică o lungime totală a conductelor de aproximativ 3.500.000 km, construite în 120 de țări ale lumii [123].

Tubul, principalul element al unei rețele de alimentare, strict necesar transportului apei, a fost confecționat, timp de mai bine de două milenii, din materiale tradiționale, obișnuite la momentul respectiv în comunitățile în care au fost utilizate (piatră, pământ ars, lemn, metale, nemetale etc.).

Tuburile antice au fost confecționate majoritar din piatră și se întâlnesc la toate populațiile antice și în toate perioadele. Astfel de tuburi, având lungimi de 2 m și diametre de 0,5 m au fost folosite î.e.n. de incași la Teohuacan [30]. Acestea reprezintă doar o mențiune din multitudinea de exemple care pot fi amintite. Variante constructive de tuburi, de diferite forme și mărimi, executate din diferite materiale, au fost utilizate de multe și variate civilizații care s-au succedat în decursul istoriei iar nenumărate artefacte pot ilustra această dezvoltare. Un scurt istoric al fabricării rețelelor de alimentare cu apă este prezentat în capitolul următor.

Se dezvoltă în mod gradual și tehnologiile folosite pentru fabricarea acestor tuburi. În secolul al XV-lea, marele savant Leonardo da Vinci, întemeietorul experimentului în știință, proiectează și execută o mașină pentru găurirea în poziție verticală a trunchiurilor arborilor, obținând un procedeu care ușurează obținerea tuburilor din lemn.

Rețelele de alimentare cu apă au cunoscut o dezvoltare deosebită, mai ales în a doua jumătate a secolului al XX-lea când, știința și tehnologia au permis apariția și producerea materialelor plastice, care au devenit principalele materiale ale tuburilor folosite în rețelele de alimentare cu apă. Astfel, materialele și tehnologiile scumpe folosite la producerea tuburilor metalice au fost înlocuite cu materiale plastice și tehnologii moderne de producție, mult mai ieftine. Tuburile moderne, astfel obținute, pot fi folosite în rețelele de alimentare cu apă, rezultând structuri care satisfac cerințele impuse unei rețele de alimentare.

Cel mai potrivit și actual material plastic folosit pentru producerea tuburilor necesare transportului apei în rețelele moderne de alimentare cu apă, s-a dovedit a fi *polietilena de înaltă densitate (HDPE)*. Tuburile și fittingurile obținute sunt caracterizate printr-o lungă durată de viață, iar costurile de întreținere ale acestora sunt reduse. Aceste produse, realizate din polietilenă de înaltă densitate, urmăresc standardele de calitate și sunt remarcabile pentru rezistența lor deosebită și

pentru greutatea lor redusă. Tuburile din HDPE au numeroase avantaje, dacă sunt comparate cu cele clasice, utilizate până în momentul de față. Enumerăm o parte dintre acestea [94], [97]:

1. permit o durată lungă de exploatare;
2. nu au nevoie de sisteme de protecție catodică;
3. nu mai este nevoie de straturi acoperitoare suplimentare, interne și externe, necesare pentru protecția anti-corozivă;
4. costurile de întreținere sunt scăzute;
5. calitatea suprafeței interioare, foarte netedă, pune la dispoziție proprietăți hidraulice deosebite, care se mențin pe parcursul exploatării;
6. asamblarea acestora este ușoară, având ca rezultat economisirea de timp la montaj;
7. etanșarea asigurată este foarte bună, când sunt solicitate la presiuni ridicate;
8. îmbinările tuburilor permit deviații unghiulare, fiind astfel posibile schimbările de direcție, fără a se folosi fittinguri speciale;
9. greutatea este redusă dacă sunt comparate cu de tuburile de beton sau cu cele metalice;
10. costurile sunt reduse, asigurând astfel un transport rapid și ieftin;
11. se pot realiza lungimi mari de tub, motiv pentru care sunt necesare puține conexiuni și astfel pot fi instalate rapid;
12. materialele utilizate sunt stabile din punct de vedere termic, rezultând că proprietățile lor nu se vor modifica la schimbările de temperatură;
13. țevile care se comercializează sunt inodore, insipide, netoxice și stabile la acțiunea unor agenți chimici sau a factorilor meteorologici;
14. îmbătrânirea este, în cazul acestor țevi, un proces foarte lent;
15. țevile realizate din polietilenă pot fi utilizate într-un montaj pe o perioadă de 50 de ani, dacă se respectă în exploatare presiunile și temperaturile recomandate de producător.

Tuburile din materiale plastice realizate în ultima perioadă, care sunt folosite în rețelele de alimentare cu apă, sunt actuale și utile datorită avantajelor pe care le prezintă față de tuburile clasice. Dezvoltarea continuă a cercetărilor în domeniul materialelor plastice noi și dezvoltarea tehnologiilor moderne utilizate pentru fabricarea acestor tuburi, fac ca produsele obținute în final să fie continuu îmbunătățite.

Tuburile din polietilenă de înaltă densitate sunt deja la generația a-III-a de material, fiind caracterizate de proprietăți și calități mecanice deosebite.

## 1.2 Importanța subiectului tezei

Tuburile din polietilenă de înaltă densitate destinate transportului apei în rețelele de alimentare sunt utilizate la nivel mondial, dovedindu-și superioritatea față de cele clasice. Ca urmare, ele merită să fie cercetate și îmbunătățite. Tuburile au dovedit o foarte bună comportare din punct de vedere al rezistenței la solicitările complexe la care sunt supuse continuu într-o rețea de alimentare cu apă, care trebuie să funcționeze neîntrerupt. Folosirea lor, în condițiile în care tehnologia de montaj a fost respectată, conform standardelor de calitate, a demonstrat scăderea pierderilor în rețea.

Rețelele actuale de alimentare cu apă, din municipii și orașe, sunt rețele hibride, reabilitate parțial numai cu tuburi din materiale plastice noi, polietilena de înaltă densitate fiind materialul cel mai potrivit pentru confecționarea tuburilor, deoarece nu afectează calitatea apei transportate și, mai ales, sănătatea consumatorilor.

Lucrarea de față își propune să cerceteze:

- materialul tubului, determinând experimental unele proprietăți mecanice și elastice ale polietilenei de înaltă densitate (HDPE cu densitatea  $0,96\text{g/cm}^3$ );
- starea de tensiune și cea de deformare a tubului din polietilenă, utilizând proprietăți determinate experimental și folosind analiza cu metoda elementelor finite, într-o rețea fără curburi semnificative (liniară) dar cu deviații însemnate de la direcția de curgere (coturi, ramificații T etc.), unde solicitările hidraulice sunt semnificative.

Studiul este realizat în ipoteza simplificatoare potrivit căreia, presiunea fluidului este constantă.

### 1.3 Scopul și obiectivele tezei

În lucrare se urmărește efectuarea unei analize asupra stadiului actual al cercetărilor în domeniul structurilor care conțin tuburi din materiale plastice, folosite în construcția rețelelor de alimentare cu apă și aducerea unor contribuții, teoretice, numerice și experimentale, legate de o mai bună înțelegere a comportamentului mecanic al unor asemenea structuri, la solicitările prin presiune, specifice rețelei de alimentare cu apă, mai ales în zonele cu schimbări ale direcției de curgere.

Materialele clasice din care au fost fabricate de-a lungul timpului țevile și fittingurile necesare alcătuirii rețelelor de captare, transport, înmagazinare și distribuție a apei sunt în prezent înlocuite de materiale noi, polimerice și compozite, dintre care, cel mai des este folosită polietilena de înaltă densitate.

Teza își propune următoarele obiective:

- **Obiectivul principal** îl constituie analiza solicitărilor tubului rectiliniu din material plastic, atât în rețea, cât și la schimbarea de direcție a acestuia (în cot). Cu ajutorul metodei elementelor finite se va analiza comportamentul mecanic al unui cot din componența unei artere confecționate din polietilenă de înaltă densitate. Cotul va fi ancorat în masiv din beton, preluându-se mecanic încărcarea hidraulică apărută. De asemenea, se va realiza o comparație cu situația în care cotul va fi îngropat direct în pământ, pentru a stabili și valida soluția cea mai bună din punct de vedere practic.
- **Obiectivele specifice ale tezei sunt:**
  1. efectuarea încercărilor pentru stabilirea caracteristicilor mecanice și elastice care trebuie cunoscute de către utilizator la recepția țevilor sau fittingurilor din polietilenă;
  2. determinarea stărilor de tensiune și de deformare din tuburi, folosind metoda elementelor finite (MEF), în situația unor solicitări maxime, care pot apărea în funcționare;
  3. analiza cu MEF a deteriorării tuburilor drepte și a cotului;
  4. realizarea unei comparații între solicitările care apar la sistemul de ancorare a cotului conductei în beton și sistemul cu îngroparea directă a cotului conductei în pământ.

## CAPITOLUL 2

# STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII REȚELELOR DE ALIMENTARE CU APĂ

### 2.1 Scurt istoric al rețelelor de alimentare cu apă. Motivarea necesității existenței rețelelor de alimentare cu apă

Apa este denumită cărașul naturii [7], este substanța esențială, strict necesară vieții. Fără apă n-ar putea trăi nici plantele, nici animalele și nici oamenii. Apa susține existența oricărui popor și reprezintă un element de bază al avuției sale naționale. Traiul și orice activitate omenească, din orice domeniu, nu pot exista în absența apei.

Pentru acest motiv, una dintre cele mai vechi preocupări ale civilizațiilor a fost transportul apei din sursele naturale, de suprafață sau de adâncime, spre zonele de locuit. Acest lucru presupune existența unor rețele de alimentare, care să permită transportul și înmagazinarea apei, iar în zonele locuite, a unor rețele de distribuție către consumatori. Din această necesitate, civilizațiile antice, încă înainte de Hristos, și-au construit rețele de alimentare cu apă.

Civilizația antică a nabatheenilor, care a trăit pe teritoriul de azi al Iordaniei, a fost un izvor, la propriu și la figurat, pentru civilizațiile antice.

Nabatheenii au construit apeducte [132]. Mărturia talentului lor constructiv o reprezintă așezarea de la Petra, unde poate fi admirată, alături de anticele artefacte și rețeaua antică de alimentare cu apă (fig. 2.1 a).

În Mesopotamia Antică, în sec. VIII î.e.n., sub domnia regelui Sanherib, se aducea apa la Ninive de la o distanță de 30 km, printr-un apeduct [31], care, la traversarea unei văi, "pe un pod de pietre albe", avea dimensiunile: lungime 280 m, lățime 22 m, înălțime 9 m. În figura 2.1 b se prezintă un capăt de conductă din Aphrodisias (Turcia).

Apeductele cele mai bine conservate, sunt ale romanilor, cunoscuți ca cei mai pricepuți constructori ai tuturor timpurilor.

În Roma, cetatea eternă, înainte de Hristos, existau mai multe apeducte, apa fiind adusă din surse până în zonele de locuit. Aqua Marcia este unul dintre celebrele apeducte ale Romei.

Romanii au construit apeducte în toate provinciile pe care le stăpâneau. Astfel, în Franța de astăzi există apeductul de la Pont du Gard, prezentat în figura 2.1 c.

Cel mai cunoscut oraș al religiilor lumii, Ierusalimul, apărat de Cavalerii Sărmani ai lui Hristos avea, în Evul mediu, dar și în Antichitate, un sistem antic de alimentare cu apă [9].



*a. Apeductul de la Petra [132]*



*b. Capăt de conductă în Aphrodisias (Turcia) [127]*



*c. Apeductul Pont du Gard la traversarea unei văi [124]*

*Figura 2.1. Apeducte și conducte antice*

Dacii aveau, cu mult înainte de venirea romanilor, sisteme antice de alimentare cu apă. Mărturie stau artefactele descoperite la Sarmizegetusa Regia, Popești, Tilișca, Piatra Roșie, Luncani. Conductele erau din pământ ars, rezervoarele erau săpate în stâncă și erau căptușite cu lemn de stejar.

Întrucât, constructorii antici nu cunoșteau "principiul vaselor comunicante", au fost nevoiți să construiască apeducte, care aveau arcade impresionante la traversarea văilor (fig. 2.1 c). Construcția

de rețele moderne de alimentare cu apă a început în secolele XVI - XVII, la acel moment fiind cunoscut deja principiul menționat mai sus.

## 2.2 Rețele moderne de alimentare cu apă în România

Nu există viață și activitate umană în niciun loc, nu se poate vorbi de dezvoltare umană și economică, fără o rețea modernă de alimentare cu apă.

Nivelul de trai al populației României depinde totdeauna, chiar și după 1990, de dezvoltarea rețelelor de alimentare cu apă.

După [115], care oferă unele din cele mai bune statistici, alături de Institutul National de Statistică, populația României în 2019 era de 19.483.360 locuitori, din care 11.806.916 locuiau în mediul urban (60,6 %) și 7.676.444 în mediul rural (39,4 %) [129]. De apă potabilă în sistem centralizat beneficiază 11,3 milioane locuitori din mediul urban și 3,4 milioane locuitori din mediul rural.

În România, numărul de localități este de 320 orașe și municipii și 12.951 de sate, organizate în 2.854 de comune (inclusiv cele aparținând administrativ de orașe) [130], [131]. Toate orașele și municipiile au rețele de alimentare cu apă centralizate, chiar dacă nu toți locuitorii beneficiază de acest serviciu [115].

Localitățile rurale cu rețele de alimentare cu apă, erau în număr de 2650 sate și comune (în 1998), ceea ce reprezenta 16,78 % din total [115].

## 2.3 Elemente de calcul ale tubului

Calculul static al tuburilor îngropate și al celor care fac traversări, în condițiile de exploatare ale rețelei, se face cu relațiile din [22, 36] și STAS 10101/OA, SR 6819.

Expeditiv, pentru tubul solicitat la presiune interioară se determină grosimea minimă de perete,  $e$ , cu relația [54]:

$$e = \frac{p_n D_n}{(2\sigma_c + p_n)} \quad (2.2)$$

în care:

$e$  - grosimea peretelui țevii (mm);

$p_n$  - presiunea nominală (MPa);

$D_n$  - diametrul exterior al țevii (mm);

$\sigma_c$  - tensiunea de calcul la temperatura de 20°C (MPa).

Valoarea tensiunii de calcul,  $\sigma_c$ , se ia din graficele curbelor de regresie [54], grafice care vor fi prezentate în continuare în figurile 2.22 și 2.23.

### 2.3.1 Tensiuni în învelitori

Rezervoarele cilindrice și tuburile care intră în componența unei rețele de alimentare cu apă sunt cazuri particulare ale învelitorii [38] prezentate în figura 2.14.

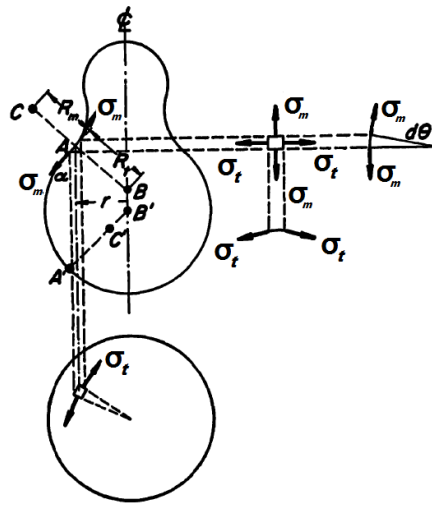


Figura 2.14 Înelitoarea [38]

Pentru calculul tensiunilor principale din pereții conductei (tubului) se pleacă de la ecuația de echilibru, Laplace, dată de relația [37, 38]:

$$\frac{\sigma_m}{R_m} + \frac{\sigma_t}{R_t} = \frac{p}{t} \quad (2.3)$$

unde:

- $\sigma_m$  - tensiunea meridiană în direcția meridianului;
- $\sigma_t$  - tensiunea circumferențială în direcția tangentei la cercul paralel;
- $R_m$  - raza principală de curbură în plan meridian;
- $R_t$  - raza principală de curbură în plan paralel;
- $p$  - presiunea interioară;
- $t$  - grosimea peretelui învelitoarei.

Rezervorul cilindric de rază  $r_0$  se obține considerând în figura 2.14 a învelitoarei,  $R_m = \infty$  și  $R_t = r_0$ .

Tubul de rază  $r$  se obține considerând în aceeași figură a învelitoarei,  $R_t = \infty$  și  $R_m = r$ .

Concluzionând, putem spune că starea de tensiune într-un punct al învelitoarei este descrisă de tensiunea meridiană  $\sigma_m$ , respectiv de cea circumferențială  $\sigma_t$  [38].

Pentru cazul general al învelitoarei, direcțiile le vom numi  $x$  și  $y$  iar starea de tensiune este prezentată în figura 2.15.

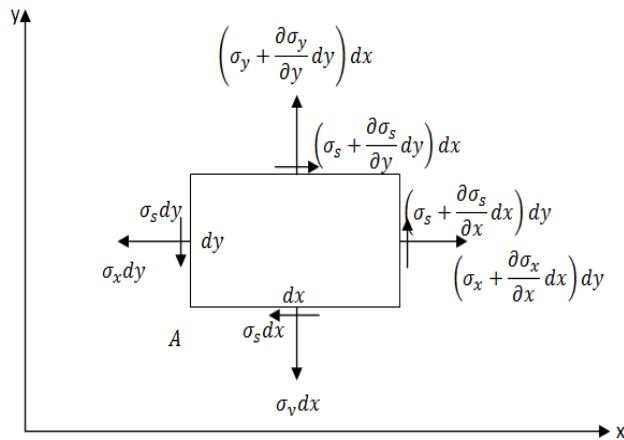


Figura 2.15 Starea de tensiune [38]

Cele trei ecuații de echilibru care se pot scrie sunt date de relațiile [38]:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_x}{R_x} + \frac{\sigma_y}{R_y} &= \frac{p}{t} \\ \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_s}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_s}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Deformațiile specifice se pot obține cu [38]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_m &= \frac{1}{E} (\sigma_m - \mu \sigma_t) \\ \varepsilon_t &= \frac{1}{E} (\sigma_t - \mu \sigma_m) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Soluțiile ecuațiilor (2.4) se pot aplica și unei conducte de apă orizontale, de rază  $r$ , precum aceea din figura 2.16, stabilite de către Thoma în 1920 [38].

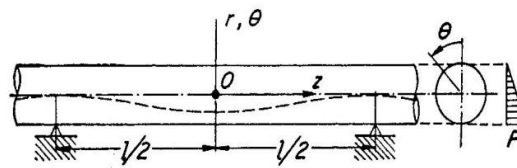


Figura 2.16 Conducta de apă orizontală [38]

Nesimetria în acest caz nu este în învelitoare, ci în încărcarea ei: presiunea variază cu unghiul  $\theta$  și  $z$  alese ca în figura 2.16.



Această variație poate fi însă mică și chiar neglijabilă în calcule, dacă se consideră presiuni mari [38].

Concluzie: distribuția tensiunii longitudinale totale,  $\sigma_l$ , în țeava din figura 2.16 este dată de relația [38] :

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{\gamma \cdot r^2}{t} (1 - \cos \theta) & \sigma_t - \text{tensiunea longitudinală de întindere} \\ \sigma_s &= -\frac{\gamma \cdot r \cdot z}{t} \sin \theta \\ \sigma_l &= \frac{\gamma}{t} \left( \frac{z^2}{2} - \frac{l^2}{24} \right) \cos \theta + \mu \sigma_t\end{aligned}\quad (2.6)$$

Stabilitatea o dă rambleul cu modulul de elasticitate  $E^*$ , prin împingere pasivă.

Criteriul de rezistență folosit este cel al deformației/ovalizării maxim admisibile, relația [54]:

$$\frac{\Delta D}{D} \leq 6\% \quad (2.7)$$

Expeditiv, în practică, se face calculul mecanic al tuburilor îngropate folosind metoda Imhoff-Gaube-Rottner [54].

## 2.4 Solicitări în tuburile sub presiune

### 2.4.1 Conducte sub presiune

În practică, la calculul rețelelor de distribuție, în primul rând se stabilește natura mișcării fluidului, care poate fi, laminară sau turbulentă.

Relațiile de calcul ale conductelor sub presiune în mișcare permanentă sunt cele clasice, utilizate în literatura de specialitate [16], [35], [32], [53], [46], [47].

### 2.5 Materiale plastice folosite la fabricarea tuburilor

Materialele plastice sunt materiale solide care au în compoziție substanțe polimerice de natură organică, având o masă moleculară mare și care conțin, în general, și alți aditivi.

Grupele în care pot fi cuprinse materialele plastice sunt [54]:

- termoplastice:
  1. poliolefine: polietilena (PE), polibutilena (PB), polipropilena (PP);
  2. cloruri de vinil: policlorura de vinil (PVC), policarbonatul (PC);
  3. stirene: polistiren (PS).
- duroplaste:
  1. termoelastice: polietilena reticulară (PER) sau (PEX);
  2. rășini.
- elastomeri (cauciucuri sintetice).

Standardele americane, însă, împart materialele plastice în două grupe [116]:

- termoplastice;
- plastice termorigide.

Termoplasticele pot fi supuse procedurii de extrudare în faza de topire a rășinilor. Din polietilena de înaltă densitate se pot obține astfel tuburi care se folosesc în rețelele de alimentare cu apă.

Plasticele termorigide au catenele legate chimic între ele prin procesul de vulcanizare și nu pot fi retopite după modelare.

Materialele plastice au structuri amorfe.

Termoplasticele, alături de structura amorfă, prezintă și o structură parțial cristalină, care le determină densitatea și le îmbunătățește proprietățile mecanice. Polietilena de înaltă densitate este un astfel de material și va fi analizată în continuare.

## CAPITOLUL 3

# STUDIUL REȚELELOR DE ALIMENTARE CU APĂ ALE MUNICIPIULUI BRAȘOV. TUBURI UTILIZATE ÎN REȚELELE DE ALIMENTARE CU APĂ

### 3.1. Proprietăți ale elementelor din rețeaua de alimentare cu apă a Municipiului Brașov

În capitolul de față este descrisă rețeaua de alimentare cu apă a Municipiului Brașov. Tuburile studiate fac parte dintre tuburile utilizate în această rețea de alimentare iar presiunile la care se face calculul lor sunt presiuni care se întâlnesc uzual în aceste conducte. În cele ce urmează sunt prezentate, pe scurt, principalele elemente ale acestui sistem.

#### A. SURSE

##### 1. Sursa de suprafață: lac de acumulare Tărlung (fig. 3.1)

Principala sursă de apă brută o constituie acumulara din zona Săcele, amplasată pe cursul râului Tărlung. Uzina de apă are ca activitate principală tratarea apei preluate din această sursă, în vederea asigurării unui debit mediu de intrare  $Q = 1.650 \text{ l/s} = 5.940 \text{ m}^3/\text{h} = 142.560 \text{ m}^3/\text{zi}$ , în condiții de potabilitate, conform STAS 1342/91.



Figura 3.1 Lacul de acumulare din Tărlung, Săcele

##### 2. Surse subterane:

###### 2.1 Captări izvoare:

- Ciucaș -  $Q = 80 \text{ l/s} = 288 \text{ m}^3/\text{h} = 6912 \text{ m}^3/\text{zi}$  (cota -950 m);
- Solomon, Putreda, Valea cu apă -  $Q = 25 \text{ l/s} = 90 \text{ m}^3/\text{h} = 2160 \text{ m}^3/\text{zi}$  (cota -710 m);
- Răcădău -  $Q = 20 \text{ l/s} = 72 \text{ m}^3/\text{h} = 1728 \text{ m}^3/\text{zi}$  (cota -710 m).

###### 2.2 Puțuri forate:

- Stupini, Sânpetru, Hărman -  $Q = 819 \text{ l/s} = 2948 \text{ m}^3/\text{h} = 70762 \text{ m}^3/\text{zi}$ .

- Teliu, Prejmer -  $Q = 1900 \text{ l/s}$ .

Sursele de alimentare cu apă s-au dezvoltat în permanență în Municipiul Brașov. Existența unei multitudini de surse, de suprafață și subterane, asigură o flexibilitate considerabilă a alimentării consumatorilor cu apă potabilă în cazul acestui municipiu.

Sursele de apă sunt bogății naționale aflate în administrarea Apelor Române, Compania Apa Brașov S.A., achiziționează și prelucrează apa brută provenită din patrimoniul Administrației Naționale a Apelor Române.

## B. REZERVOARE

1. Rezervoarele pentru zona de presiune superioară, peste cota 630 m față de nivelul mării, sunt:

- Solomon -  $600 \text{ m}^3$  (cota - 680 m);
- Răcădău -  $1000 \text{ m}^3$  (cota - 687 m);
- Pajiștei -  $2500 \text{ m}^3$  (cota - 739 m);
- Warthe -  $5000 \text{ m}^3$  (cota - 718 m);
- Valea Cetății -  $5000 \text{ m}^3$  (cota - 710 m);
- Dealul Melcilor -  $5000 \text{ m}^3$  (cota - 717 m).

Zonele superioare de distribuție sunt amplasate în cartierul Schei, din partea veche a orașului, în zona Răcădău, cartierul Valea Cetății, în zona Warthe, precum și o parte din locuințele care se întind de-a lungul drumului nou spre Poiana Brașov.

2. Rezervoare pentru zona de înaltă presiune (cota între 600 - 630 m)

Rezervoarele care deservește această zonă sunt:

- Pleașa nou -  $10000 \text{ m}^3$  (cota - 625 m);
- Dealul Melcilor -  $2 \times 5000 \text{ m}^3$ ,  $8000 \text{ m}^3$  (cota - 620 m).

Zona de înaltă presiune este repartizată pe teritoriul Municipiului Brașov, în două părți distincte: prima este amplasată în zona de sud, respectiv cartierul Dârste - Noua și parțial Valea Cetății iar a doua în zona centrului vechi al Brașovului.

3. Rezervoarele pentru zona de medie presiune (cota între 570 - 600 m) sunt:

- Dealul Melcilor -  $2 \times 5000 \text{ m}^3$ ,  $10000 \text{ m}^3$  (cota - 620 m);
- Dârste -  $2 \times 5000 \text{ m}^3$  (cota - 615 m);
- Tâmpa -  $2000 \text{ m}^3$  (cota - 610 m).

Zona de medie presiune cuprinde o mare parte din teritoriul Municipiului Brașov, aici fiind incluse cartierele, Astra, Tractorul și cele vechi, aferente zonei Teatrului, Str. Lungă în partea centrală a sa și centrul istoric al orașului.

4. Rezervoarele pentru zona de joasă presiune (cota 540 - 570 m) sunt:

- Dealul lui Lupan -  $3 \times 5000 \text{ m}^3$ .

Zona de joasă presiune cuprinde cartierul Bartolomeu, zona Stadionului Municipal, Str. Lungă, zona industrială și de locuințe din partea nord - vestică a orașului.

## C. STAȚII DE POMPARE

Stațiile de pompare care fac parte din rețeaua de alimentare cu apă a Municipiului Brașov sunt:

- SP Zizin                      cota preaplin - 539 m;  
    cota nivel minim - 534 m;
- SP Rulmentul              cota preaplin - 540 m;  
    cota nivel minim - 535m;
- SP Hărman                    cota preaplin - 520 m;  
    cota nivel minim - 515 m.

### 3.2. Schema tehnologică a rețelei de alimentare cu apă a Municipiului Brașov

În figura 3.2 se prezintă rețeaua de alimentare cu apă a Municipiului Brașov, cu evidențierea schemei tehnologice.

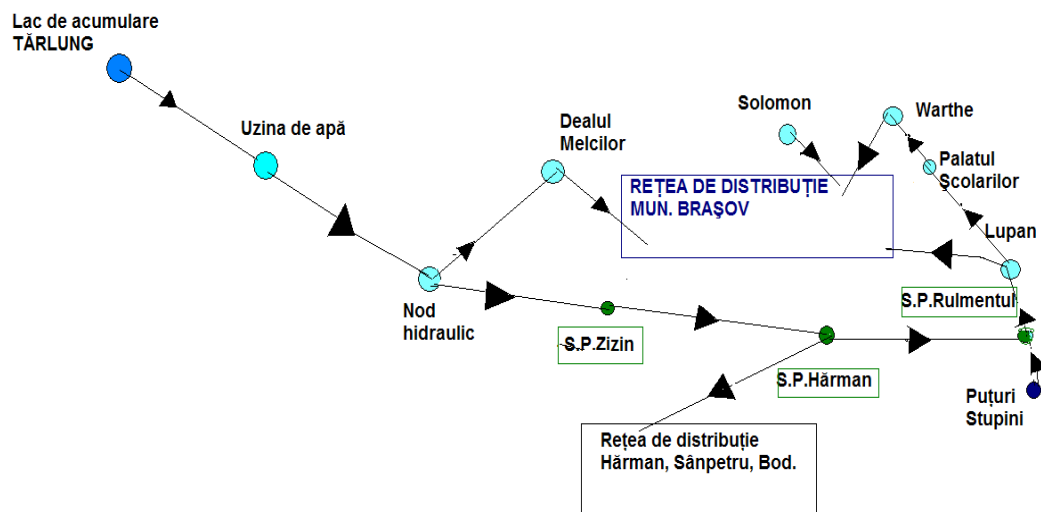
Traseul tehnologic al rețelei de alimentare cu apă a Municipiului Brașov este următorul:

1. Apa brută preluată din lacul de acumulare Tărlung este tratată în Uzina de Apă, după care, gravitațional, este trimisă spre rezervoarele de înmagazinare din Dealul Melcilor și spre SP Zizin și SP Hărman și parțial spre SP Rulmentul. Din Dealul Melcilor, prin conducte gravitaționale, apa este transportată în rețeaua de distribuție a Municipiului Brașov (fig.3.2).

2. Apa de la captarea Solomon, printr-o conductă gravitațională alimentează zona de înaltă presiune a rețelei de distribuție a Municipiului Brașov.

3. Apa din puțurile de adâncime Stupini, exploatate de Compania Apa Brașov S.A, prin SP Rulmentul, este refulată în rezervorul de înmagazinare Lupan și de acolo, prin artere în rețeaua de distribuție a municipiului.

Din SP Lupan, prin rezervoarele din Palatul Școlărilor și Warthe, apa este introdusă în rețeaua de distribuție.



SCHEMA TENNOLOGICĂ A REȚELEI DE ALIMENTARE CU APĂ A MUN.BRAȘOV

Figura 3.2 Rețeaua de alimentare cu apă a Municipiului Brașov

Figurile 3.3 și 3.4 prezintă o parte a rețelei de distribuție, cu identificarea punctelor nodale, necesare calculului.

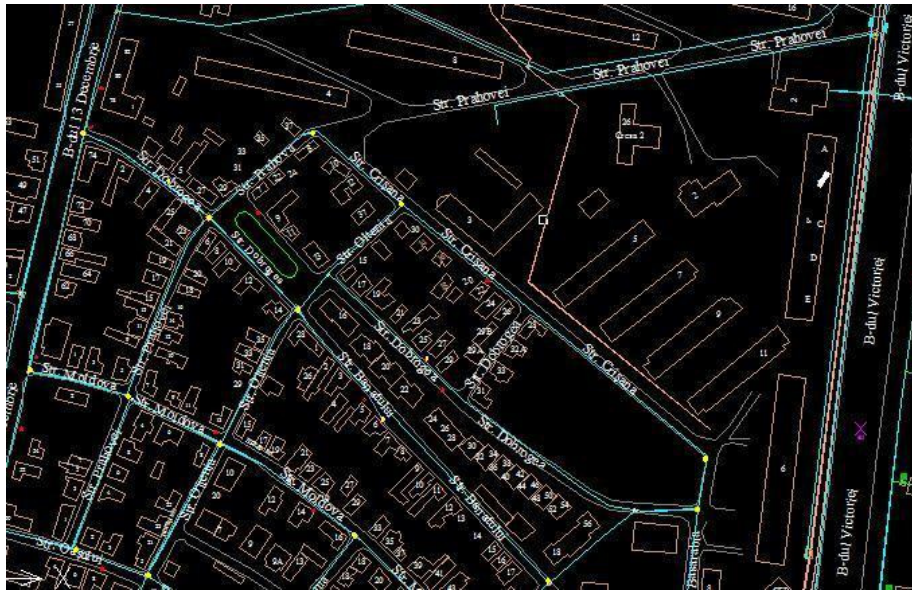


Figura 3.3 *Reprezentarea punctelor nodale pentru o parte din rețeaua de distribuție din Municipiul Brașov. Artera Victoriei*

Din cauza costurilor energetice mari, SP Hărman și SP Zizin sunt în conservare tehnică și profitând de așezarea în teren, apa ajunge gravitațional de la Uzina de apă prin SP Zizin în SP Hărman și de aici în Hărman, Sânpetru, Bod și Hălchiu.

Conducta inițială de refulare a SP Hărman a fost astfel transformată în conductă de aducțiune pentru localitățile mai sus menționate.

### 3.3 Tipuri de tuburi din polietilenă de înaltă densitate (HDPE) folosite în rețelele de alimentare cu apă

Figura 3.5 prezintă tipurile de tuburi din polietilenă de înaltă densitate folosite în rețelele de alimentare cu apă, în general și în particular, în Municipiul Brașov.



Figura 3.5 *Tuburi de diferite dimensiuni folosite în rețelele de alimentare cu apă pentru artere și distribuție la consumatori*

Figura 3.6 prezintă tuburile din HDPE folosite la branșamentele pentru consumatori casnici.

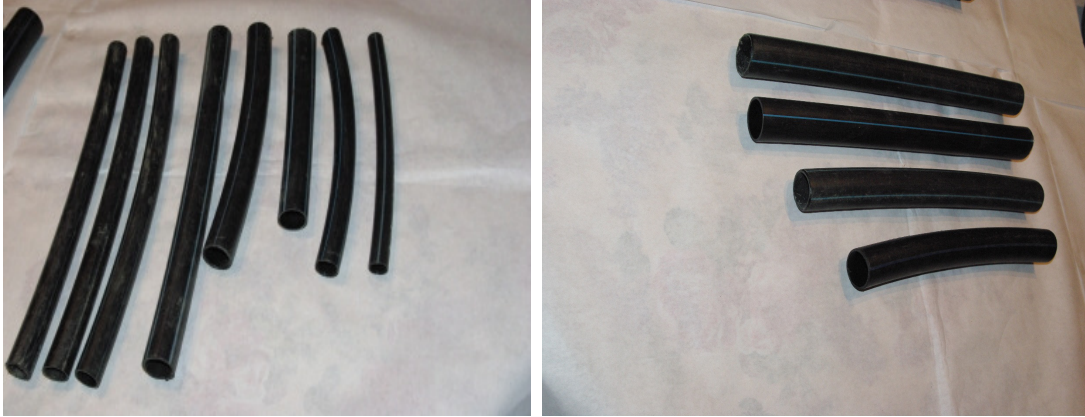


Figura 3.6 *Tuburi folosite la branșamentele consumatorilor*

Figura 3.7 prezintă tuburile din HDPE folosite pentru rețeaua de distribuție.

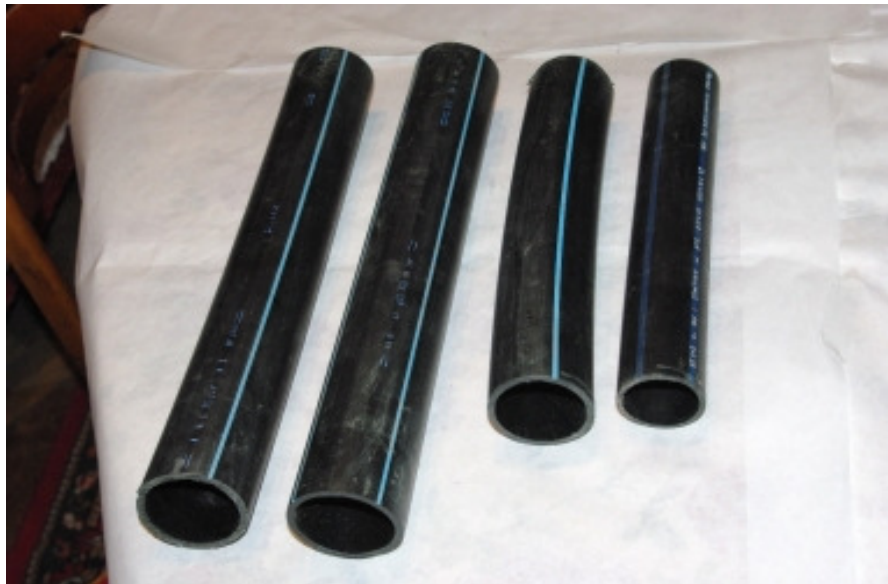


Figura 3.7 *Tuburi folosite cel mai des în rețeaua de distribuție*

Figura 3.8 prezintă tuburile din HDPE folosite pentru arterele rețelei.

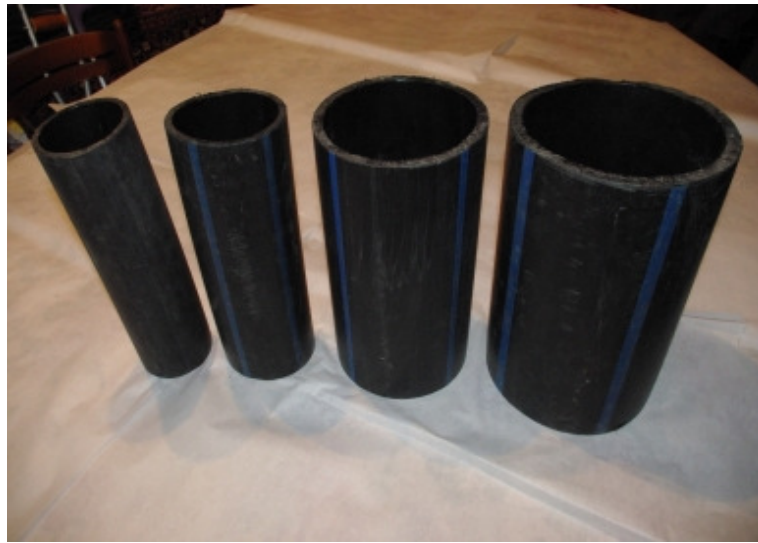


Figura 3.8 Tuburi de diferite dimensiuni folosite pentru artere

### 3.5. Identificarea principalului mod de rupere ductilă al tuburilor HDPE

Modul ductil de rupere este caracterizat în material de zone cu aspect caracteristic laminării la rece, cu alungiri semnificative în imediata zonă a rupturii [116], [92], [33], [63]. Ruptura arată ca un "cioc de papagal" [116] lucru ilustrat de figura 3.11, în care se prezintă țevi folosite de Compania Apa Brașov S.A în proiecte cu finanțare europeană.



Figura 3.11 Ruptura "cioc de papagal"

## CAPITOLUL 4

### DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

În cadrul acestui capitol sunt prezentate mai multe încercări mecanice ale materialelor din care se confecționează tuburile utilizate în rețelele de alimentare cu apă. Proprietățile mecanice rezultate în urma încercărilor experimentale prezintă o importanță practică mare, întrucât, acestea

sunt necesare proiectanților de rețele de alimentare și specialiștilor din acest domeniu. De asemenea, proprietățile de material trebuie cunoscute pentru calculul numeric al unor astfel de tuburi, aflate în componența rețelelor, folosindu-se analiza cu elemente finite.

## 4.1 Încercări la tracțiune

### 4.1.1 Încercarea la tracțiune a unui tub HDPE 20x2

Încercările de materiale s-au efectuat în Laboratorul de încercări materiale al Departamentului de Mecanică al Facultății de Inginerie Mecanică din Universitatea Transilvania din Brașov, pe mașina tip Lloyd LS 100, pentru tracțiune/compresiune și pe mașina tip Lloyd LR5K, pentru încovoiere.

Mai întâi, au fost încercate la tracțiune două tuburi 20x2.

Distribuția tensiune - alungire specifică pentru tubul HDPE 20x2 este redată în figura 4.1 și Anexa1, unde în paranteză rotundă va fi trecut numărul epruvetei, iar numărul figurii corespunde cu cel din lucrare.

Distribuția forță - alungire a tubului HDPE 20x2 este redată în figura 4.2 și în Anexa 1.

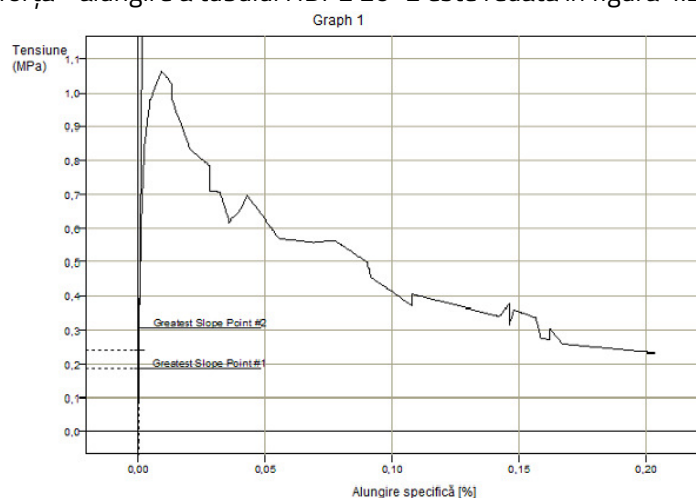


Figura 4.1 Distribuția tensiune - alungire specifică: tracțiune tub20x2

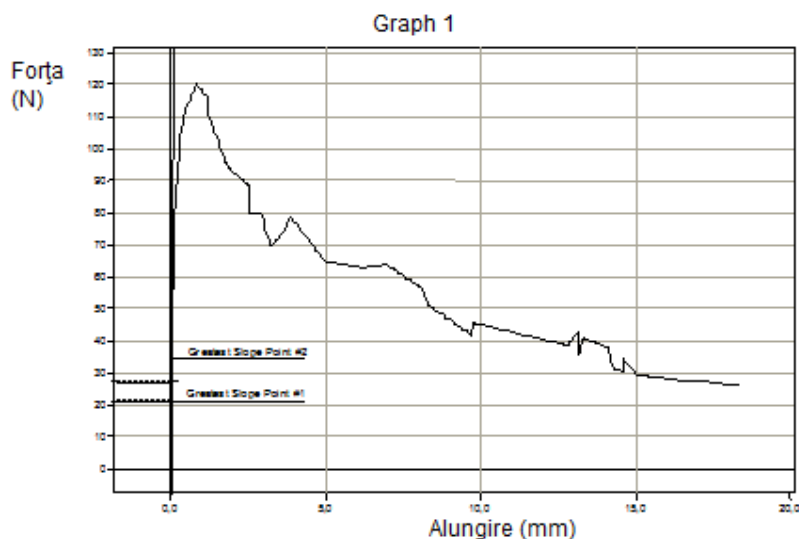


Figura 4.2 Distribuția forță - alungire: tracțiune tub 20x2



Mașina de încercat, de tipul Lloyd LS 100, este redată în figura 4.3, cu detaliul din figura 4.4.

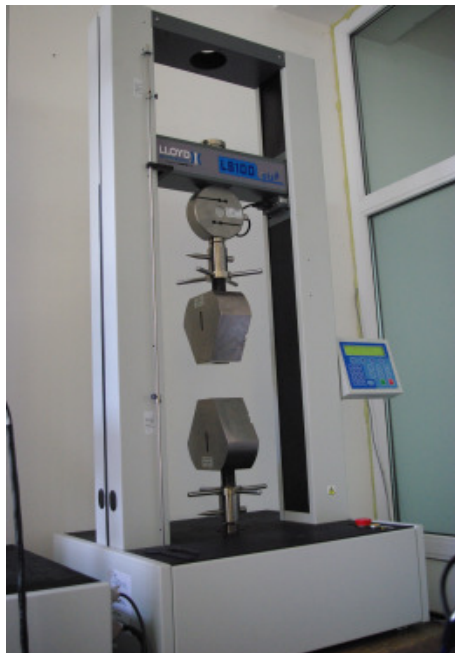


Figura 4.3 Mașina de încercat Lloyd LS 100 Figura 4.4 Detaliul încercării la tracțiune pentru tubul 20x2

#### 4.1.2 Încercarea la tracțiune a epruvetelor decupate din tub HDPE 63x4

Pentru efectuarea încercării au fost decupate, dintr-un tub HDPE 63x4, cinci epruvete cu dimensiunile 150 mm x 10 mm x 4 mm. Încercările la tracțiune s-au efectuat pe mașina de încercat de tip LS 100 PLUS, produsă de Lloyd Instruments, Marea Britanie, prezentată în figura 4.3, care are următoarele caracteristici [95]:intervalul de forță 100 kN;acuratețea vitezei < 0,2 %;cursa 840 mm;rezoluția încărcării < 0,01 % a capsulei dinamometrice folosite;rezoluția prelungită < 0,1 micrometri;capsula dinamometrică tip XLC-100K-A1;software NEXYGEN Plus.

Epruvetele au fost supuse unei viteze de încercare de 3 mm/min, folosindu-se și un extensometru. Au fost determinate următoarele caracteristici:rigiditatea;modulul lui Young;tensiunea normală la încărcarea maximă;alungirea la încărcarea maximă;deformarea la încărcarea maximă.

Curbele tensiune - alungire specifică, mediate, ale epruvetelor, sunt redată în figura 4.5 și în Anexa 1. Curbele forță - alungire sunt redată în figura 4.6 și în Anexa 1.

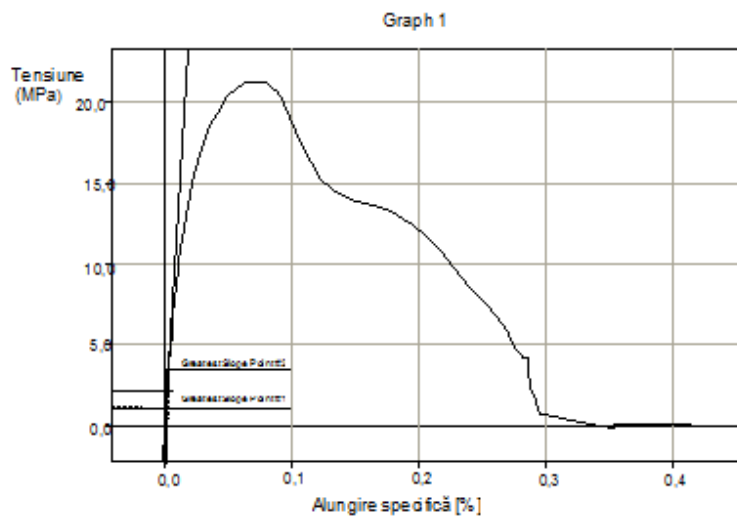


Figura 4.5 Distribuția tensiune - alungire specifică: tracțiune 63x4

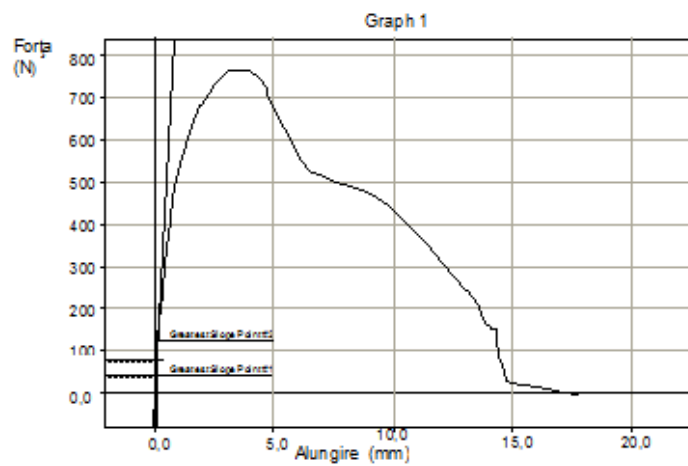


Figura 4.6 Distribuția forță - alungire: tracțiune 63x4

În figura 4.7 sunt prezentate epruvetele care au fost supuse încercării de tracțiune, iar în figura 4.8 este prezentat extensometrul folosit la această încercare.

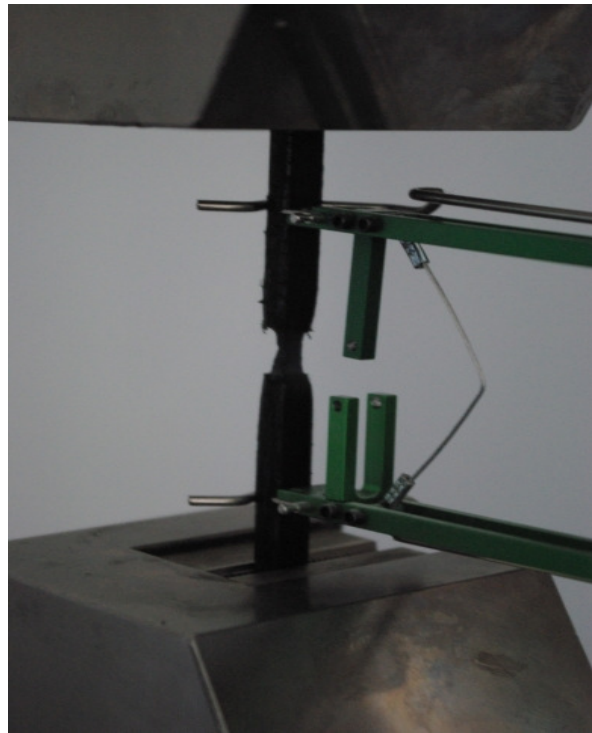


Figura 4.7 Epruvetele 1-5 supuse la tracțiune Figura 4.8 Extensometrul folosit la tracțiune

#### 4.1.3 Încercarea la tracțiune a epruvetelor decupate din tub HDPE 90×6

Pentru efectuarea încercării au fost decupate, dintr-un tub HDPE 90×6, cinci epruvete cu dimensiunile 150 mm × 10 mm × 6 mm. Curbele tensiune - alungire specifică, mediate, sunt prezentate în figura 4.9 și în Anexa 1. Curbele forță - alungire sunt redată în figura 4.10 și în Anexa 1.

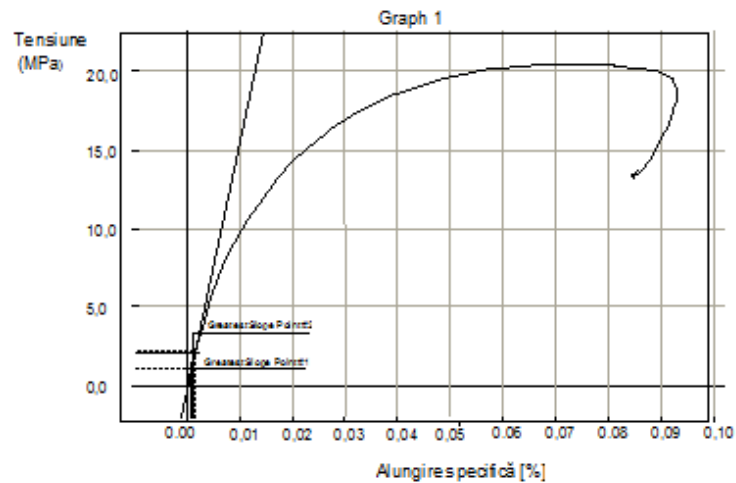


Figura 4.9 Distribuția tensiune - alungire specifică: tracțiune 90×6

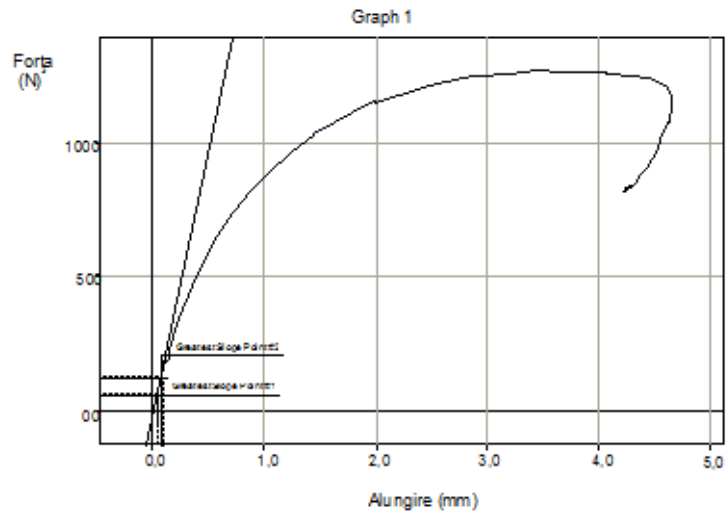


Figura 4.10 Distribuția forță - alungire: tracțiune 90×6

În figura 4.11 se prezintă epruvetele rupte la tracțiune.



Figura 4.11 Epruvetele rupte la tracțiune 90×6

#### 4.2 Încercarea la compresiune a epruvetelor decupate din tub HDPE 90×6

Pentru efectuarea încercării au fost decupate, dintr-un tub HDPE 90×6, patru epruvete, având dimensiunea 150 mm × 10 mm × 6 mm.

Dependențele tensiune - scurtare specifică sunt redată în figura 4.12 și în Anexa 1, în timp ce, dependențele forță - scurtare sunt redată în figura 4.13 și în Anexa 1.

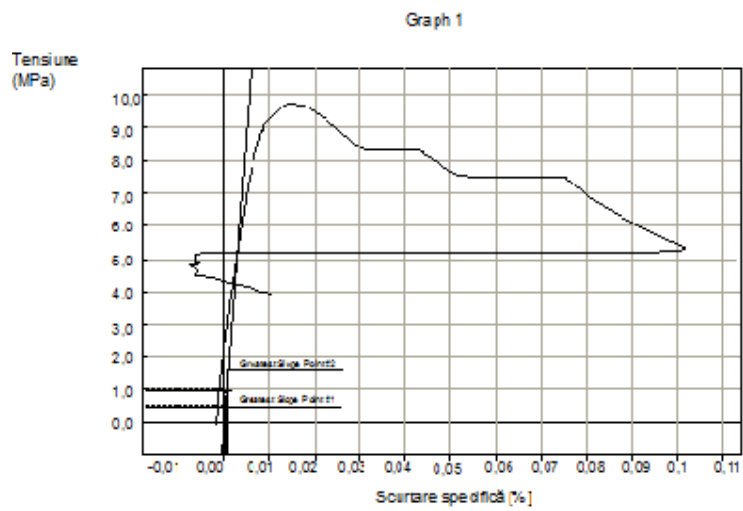


Figura 4.12 Distribuția tensiune - scurtare specifică: compresiune 90x6

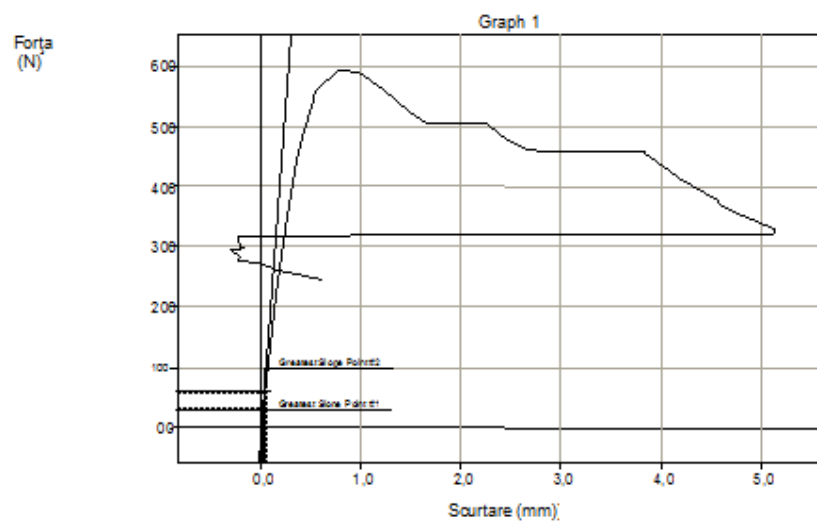


Figura 4.13 Distribuția forță - scurtare: compresiune 90x6

În figura 4.14 sunt prezentate epuvetele folosite la încercarea de compresiune, iar în figura 4.15 este prezentat extensometrul folosit la această încercare.



**Figura 4.14** *Epruvetele folosite la compresiune*    **Figura 4.15** *Extensometrul folosit la compresiune*

### 4.3. Încercări la încovoiere

#### 4.3.1. Încovoierea în trei puncte a unui tub 20×2

Epruvetele sub formă de tub, cu dimensiunile 20 mm × 2 mm × 100 mm (diametru x grosime perete x lungime) au fost supuse încercării la încovoiere în trei puncte, pe mașina de încercat tip LR5K Plus, produsă de Lloyd Instruments - Marea Britanie.

Încercarea va fi denumită încovoiere 3p 20×2.

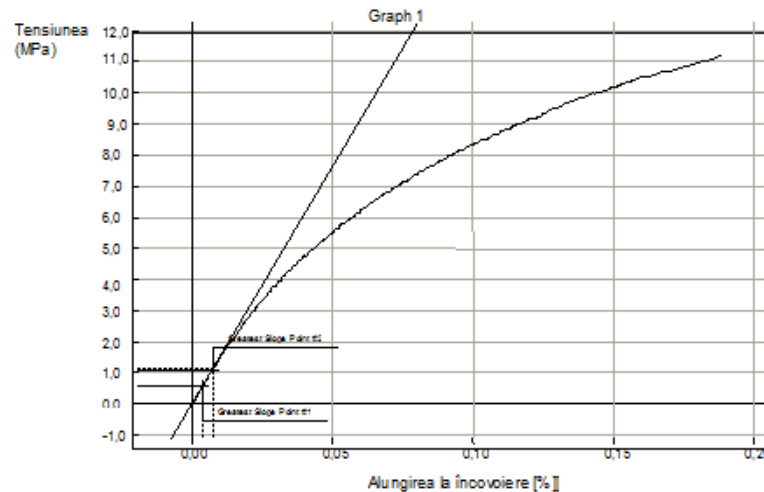
Mașina de încercat prezintă următoarele caracteristici [96]: intervalul de forță 5 KN ;acuratețea vitezei <0,2 %; cursa 840 mm; rezoluția încărcării <0,01% din aceea a capsulei dinamometrice folosite.

Epruvetele au fost supuse la o viteză de încercare de 1,5 mm/min iar deschiderea reazemului a fost aleasă de 60 mm.

Au fost determinate următoarele caracteristici principale: modulul lui Young la încovoiere; rigiditatea la încovoiere; deformarea la sarcină maximă; alungirea la sarcină maximă.

Dependențele tensiune - alungire specifică la încovoiere sunt redată în Fig. 4.16 și în Anexa 1.

Dependențele forță - deformație la încovoiere pot fi observate în Fig. 4.17 și în Anexa 1.



**Figura 4.16** *Distribuția tensiune - alungire: încovoiere 3p 20×2*

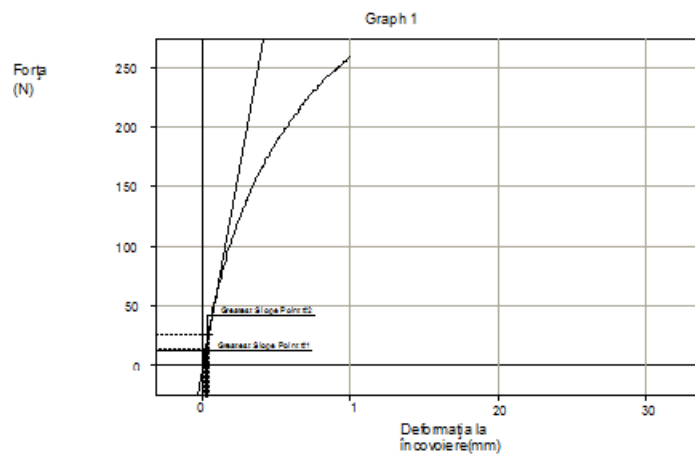


Figura 4.17 Distribuția forță - deformație: încovoiere 3p 20x2

#### 4.3.2 Încovoiere tub 25x2

Epruvetele sub formă de tub cu dimensiunile 25 mm x 2 mm x 150 mm au fost supuse încercării la încovoiere în trei puncte, pe mașina de încercat tip LR5K Plus, produsă de Lloyd Instruments - Marea Britanie. Încercarea este denumită încovoiere 3p 25x2. Dependențele tensiune - alungire specifică la încovoiere sunt redată în figura 4.19 și în Anexa 1 iar dependențele forță - deformație la încovoiere sunt redată în figura 4.18 și în Anexa 1.

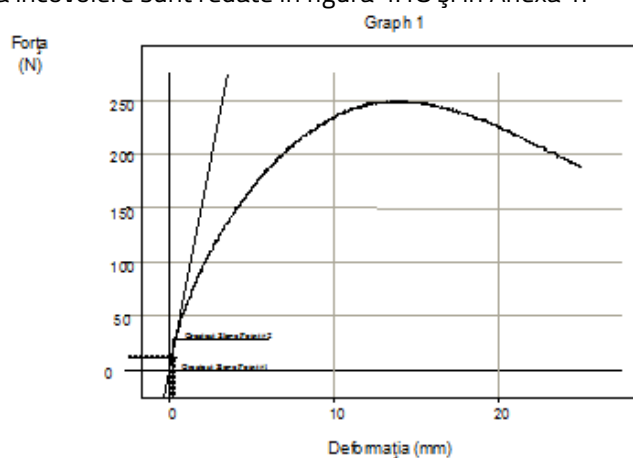


Figura 4.18 Distribuția forță - deformație: încovoiere 3p 25x2

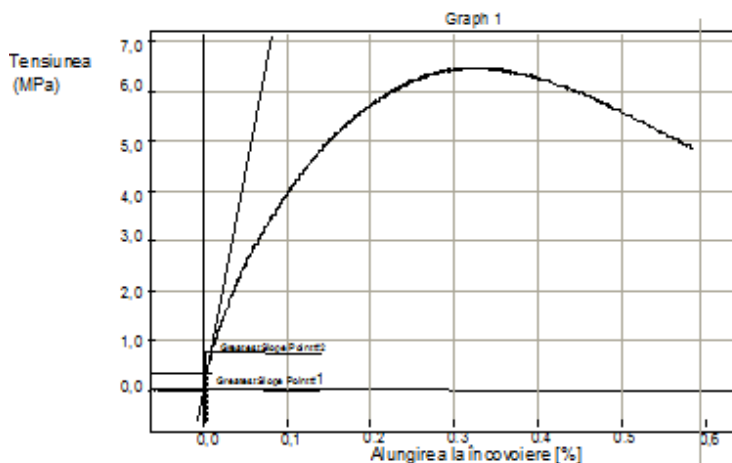


Figura 4.19 Distribuția tensiune - alungire: încovoiere 3p 25x2

#### 4.3.3 Încovoiere tub 40x2,3

Epruvetele sub formă de tub cu dimensiunile 40 mm × 2,3 mm ×150 mm (au fost supuse încercării la încovoiere în trei puncte, pe mașina de încercat tip LR5K Plus.

Încercarea este denumită încovoiere 3p 40x2,3.

Dependențele tensiune - alungire specifică la încovoiere sunt prezentate în figura 4.20 și în Anexa 1.

Dependențele forță - deformație la încovoiere pot fi observate în figura 4.21 și în Anexa 1.

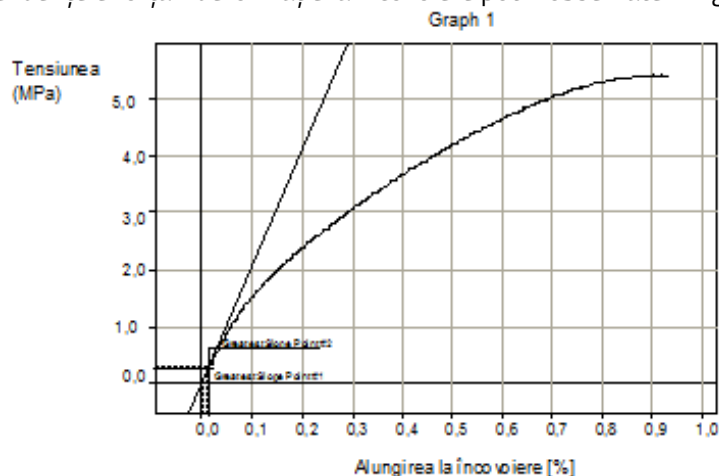


Figura 4.20 Distribuția tensiune - alungire: încovoiere 3p 40x2,3

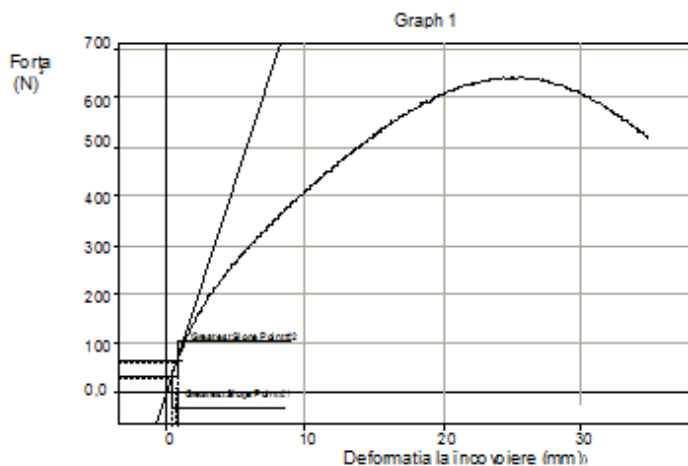


Figura 4.21 Distribuția forță - deformație: încovoiere 3p 40x2,3

#### 4.3.4 Încovoiere 63x4

Epruvetele sub formă de tub cu dimensiunile 63 mm ×4 mm ×150 mm au fost supuse încercării la încovoiere în trei puncte, pe mașina de încercat tip LR5K Plus, produsă de Lloyd Instruments - Marea Britanie.

Încercarea este denumită încovoiere 3p 63x4.

Dependențele tensiune - alungire specifică la încovoiere sunt prezentate în figura 4.22 și în Anexa 1.

Dependențele forță - deformație la încovoiere sunt specificate atât în figura 4.23, cât și în Anexa 1.



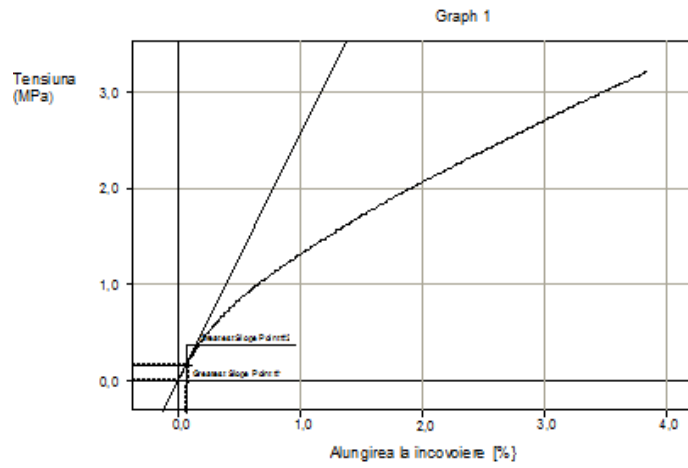


Figura 4.22 Distribuția tensiune - alungire specifică: încovoiere 3p 63x4

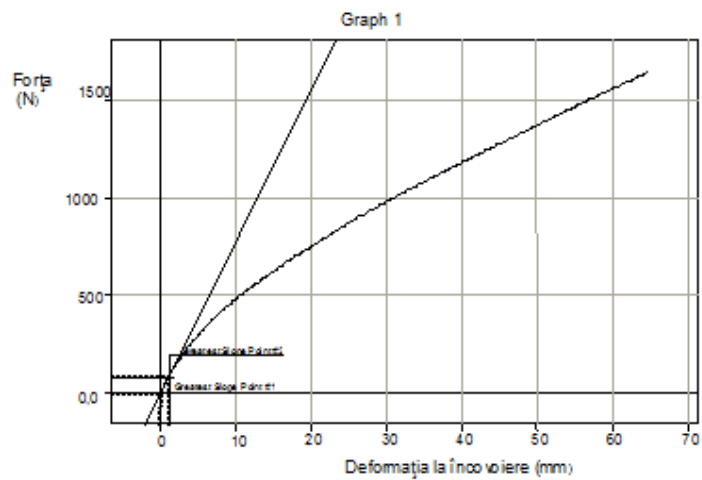


Figura 4.23 Distribuția forță - deformație: încovoiere 3p 63x4

În figura 4.24 sunt prezentate tuburile folosite la încercarea de încovoiere în trei puncte.



Figura 4.24 Tuburile folosite la încercarea de încovoiere

#### 4.4. Sistematizarea rezultatelor încercărilor

##### 4.4.1. Sistematizarea caracteristicilor la tracțiune.

S-au determinat următoarele caracteristici elastice și mecanice la tracțiune:

- Modulul de elasticitate tangent inițial și modulul de elasticitate secant la tracțiune;
- Tensiunea maximă la tracțiune;
- Alungirea la forța maximă.

Metoda constă în aplicarea unei sarcini progresive de tracțiune, pe direcția axei longitudinale a epruvetei.

Epruvete. Pentru determinarea caracteristicilor la tracțiune ale tubului din polietilenă de înaltă densitate se utilizează epruvete de tipul celor prezentate anterior în figurile 4.11 și 4.14.

**Pregătirea epruvetelor.** În cazul tuburilor din polietilenă de înaltă densitate folosite la realizarea rețelelor de alimentare cu apă, epruvetele se decupează din țevile utilizate, acestea având diametre și grosimi diferite ale pereților. Pentru distribuție se folosesc țevi cu diametrele exterioare cuprinse între 20.....110 mm, pentru transport se folosesc arterele cu diametre exterioare între 110....400 mm și aducțiunile cu diametre exterioare între 400.....1000 mm.

Epruvetele se decupează la lățimea de 10 mm și la lungimea de 150 mm, grosimea lor fiind dată de grosimea peretelui țevii respective.

Pentru fiecare caracteristică determinată sunt necesare minimum patru sau cinci epruvete. Dacă se urmărește o precizie mai mare a mediei aritmetice a valorilor se mărește numărul epruvetelor testate în vederea determinării caracteristicilor dorite.

**Viteza de încercare.** Viteza de deplasare a capetelor de fixare ale epruvetelor este viteza de încercare. Aceasta se alege astfel încât să asigure o viteză de creștere a extensiei procentuale de aproximativ 1....2 % pe minut.

Pentru epruvetele prezentate mai sus se adoptă viteza de încercare de 2 mm/min., și se determină :Tensiunea; Alungirea;Modulul de elasticitate longitudinal.

Viteza de încercare, măsurată la funcționarea în gol, trebuie menținută cu o abatere de  $\pm 10\%$ .

**Condiții de lucru.** Epruvetele decupate din țevi se măsoară cu șublerul, pentru a stabili încadrarea lățimii și lungimii în toleranța cotelor menționate în standarde. Se elimină epruvetele care nu corespund din punct de vedere dimensional. Grosimea epruvetelor este dată de grosimea peretelui țevii. S-a constatat că aceasta este constantă.

Fiecare epruvetă se prinde în clemele de fixare ale mașinii, având grijă ca axa longitudinală a epruvetei să coincidă cu axa mașinii de încercat. Strângerea se face astfel încât, epruveta să nu sufere un efort de tracțiune după direcția în care se măsoară alungirea. Viteza de încercare se reglează la 2 mm/min, apoi se înregistrează alungirile și forțele corespunzătoare.

##### 4.4.2 Rezultatele încercărilor la tracțiune

Încercările la tracțiune s-au efectuat pe tuburi și pe epruvete decupate din tipurile de tuburi folosite la distribuție în rețelele de alimentare cu apă, astfel:

###### 4.4.2.1 Tracțiune tub 20×2 HDPE

Rezultatele încercărilor la tracțiune ale celor două tuburi 20×2 sunt prezentate în figurile 4.25 și 4.26.

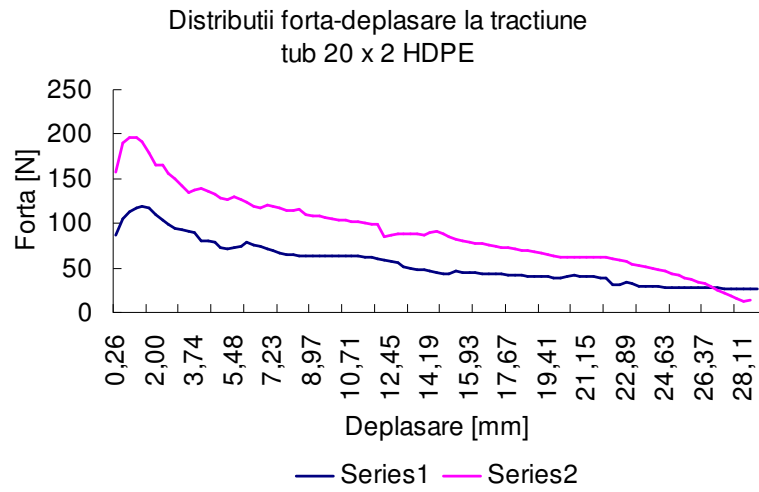


Figura 4.25 Dependente forță - deplasare la tractiune tuburi 20x2

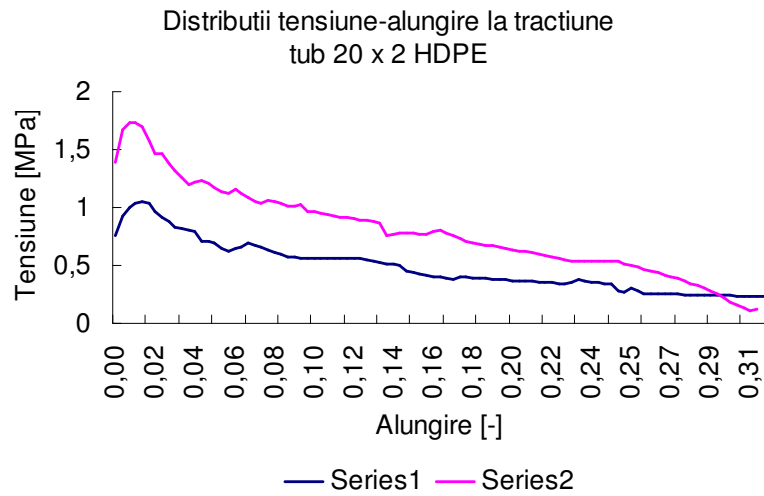


Figura 4.26 Dependente tensiune - alungire specifică la tractiune tub 20x2

Modulul lui Young la tractiune

Modulul lui Young pentru încercarea la tractiune a epruvetelor decupate din tuburi HDPE 63x4 și 90x6 este prezentat în figura 4.27.

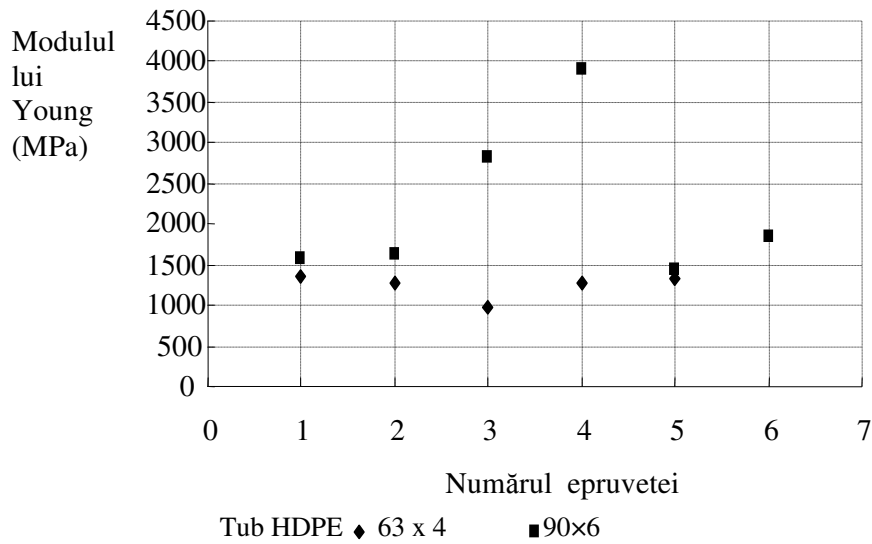


Figura 4.27 Modulul lui Young pentru tracțiunea epruvetelor 63x4 și 90x6

#### 4.4.2.2 Tracțiune 63x4 HDPE

Rezultatele încercărilor la tracțiunea epruvetelor decupate din tub 63x4 sunt redată în figurile 4.28 și 4.29.

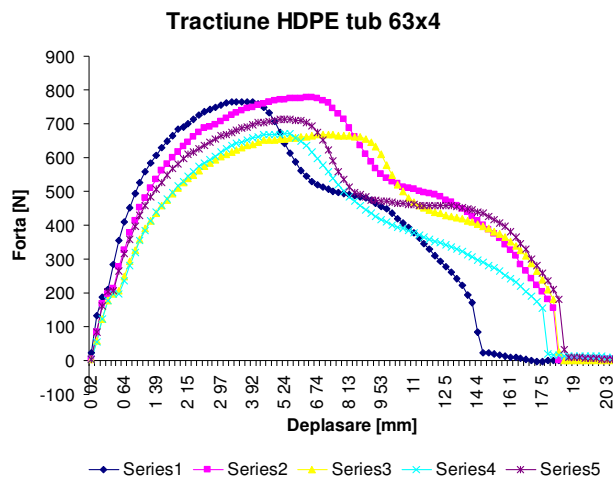


Figura 4.28 Dependentele forță - deplasare la tracțiune 63x4

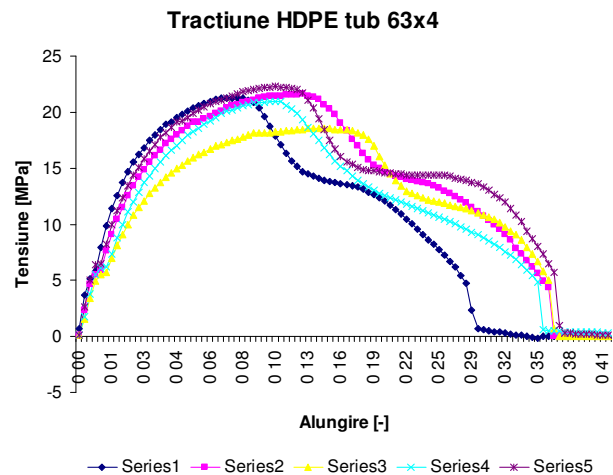


Figura 4.29 Dependentele tensiune - alungire specifică la tracțiune 63x4

#### 4.4.3 Rezultatele încercărilor la încovoierea tuburilor

Rezultatele încercărilor la încovoiere sunt prezentate în figurile 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 și 4.37.

##### 4.4.3.1 Încovoiere tub 20x2

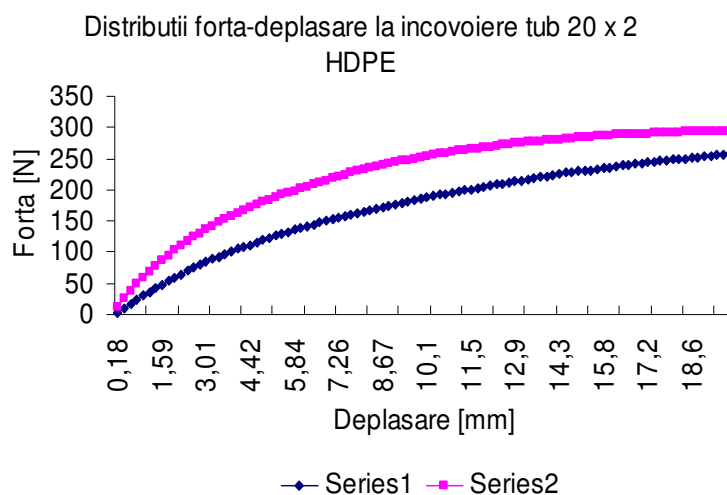


Figura 4.30 *Dependențe forță - deplasare la încovoiere tub 20x2*

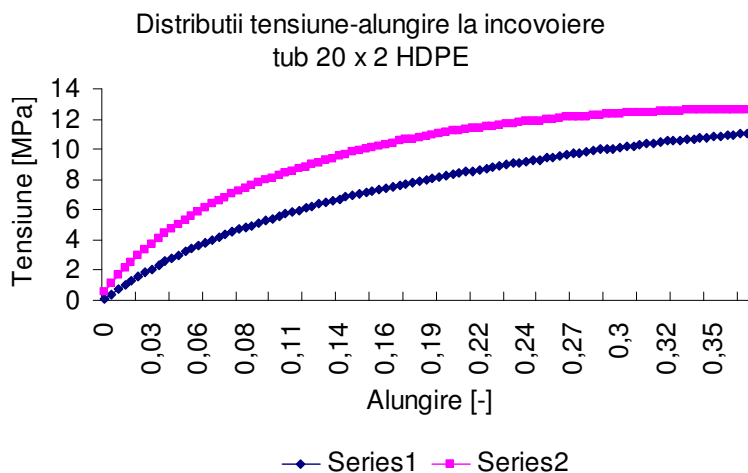


Figura 4.31 *Dependențe tensiune - alungire specifică la încovoiere tub 20x2*

#### 4.4.3.2 Încovoiere tub 25x2

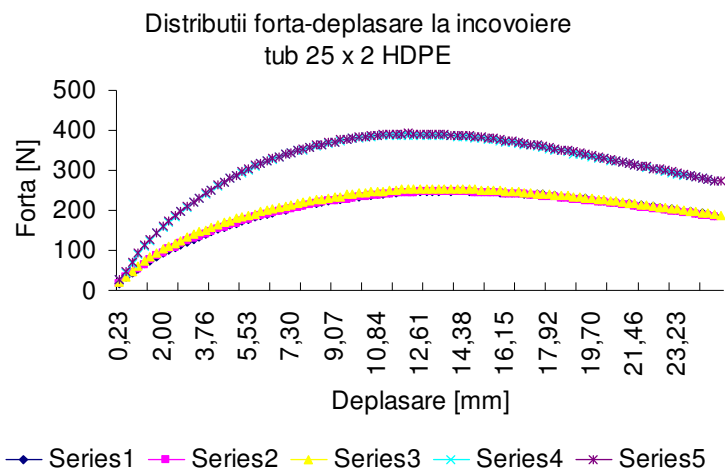


Figura 4.32 *Dependente forță - deplasare la încovoiere tub 25x2*

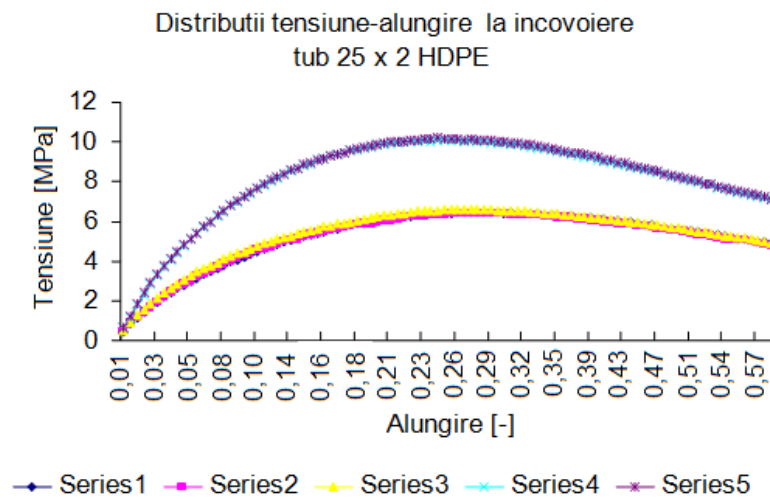


Figura 4.33 *Dependente tensiune - alungire specifică la încovoiere tub  $\phi 25 \times 2$*

#### 4.4.3.3 Încovoiere tub 40x2,3

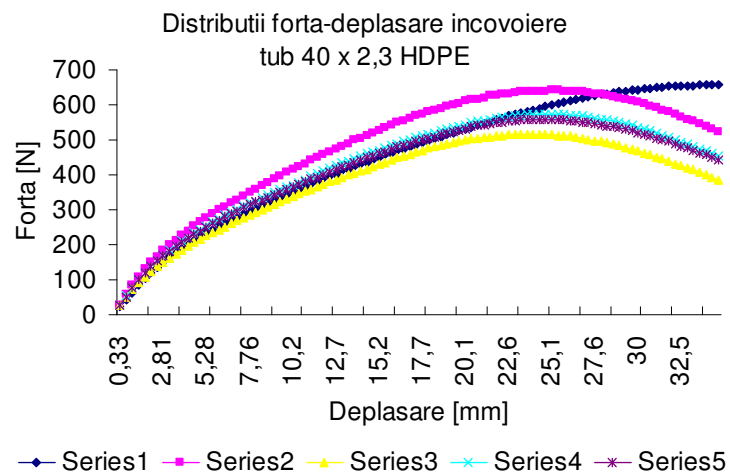


Figura 4.34 *Dependente forță - deplasare la încovoiere tub 40x2,3*

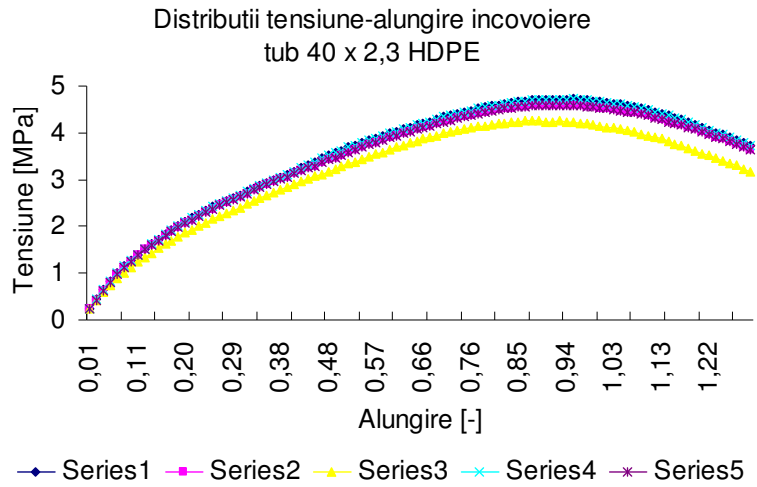


Figura 4.35 *Dependente tensiune - alungire specifică la încovoiere tub 40x2,3*

#### 4.4.3.4 Încovoiere tub 63x4

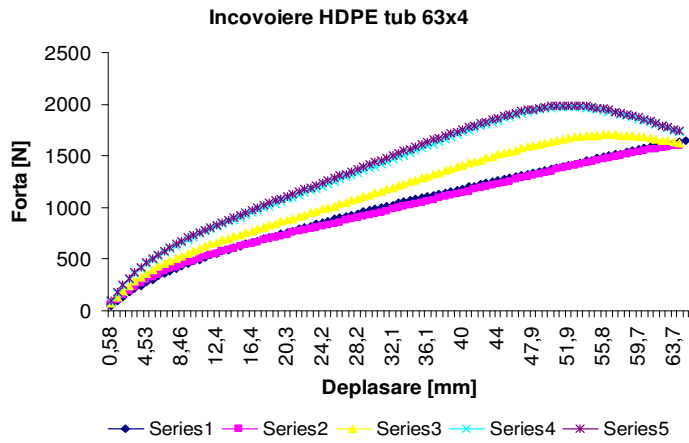


Figura 4.36 *Dependentele forță - deplasare la încovoiere tub 63x4*

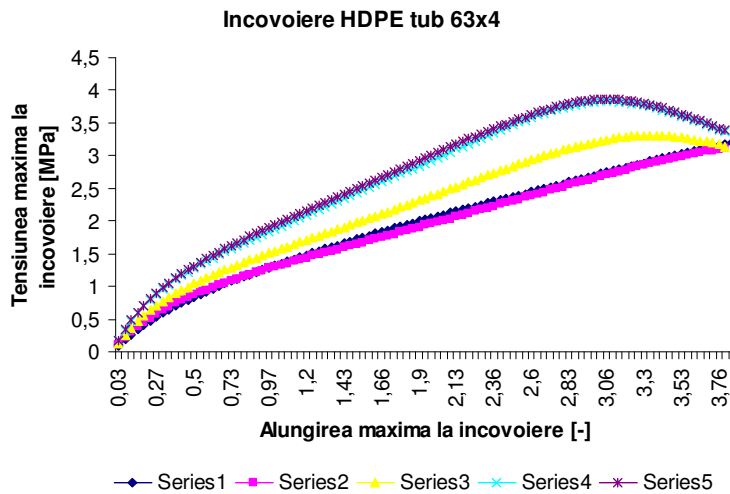


Figura 4.37 *Dependente tensiune - alungire specifică la încovoiere tub 63x4*

#### 4.4.4 Rezultatele încercărilor la compresiune

#### 4.4.4.1 Compresiune 90x6

Rezultatele încercărilor la compresiune sunt prezentate în figurile 4.38 și 4.39.

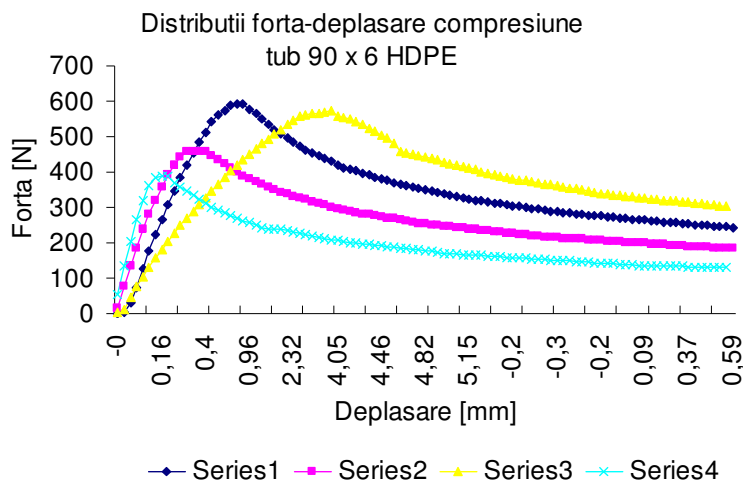


Figura 4.38 *Dependențele forță - scurtare la compresiune 90x6*

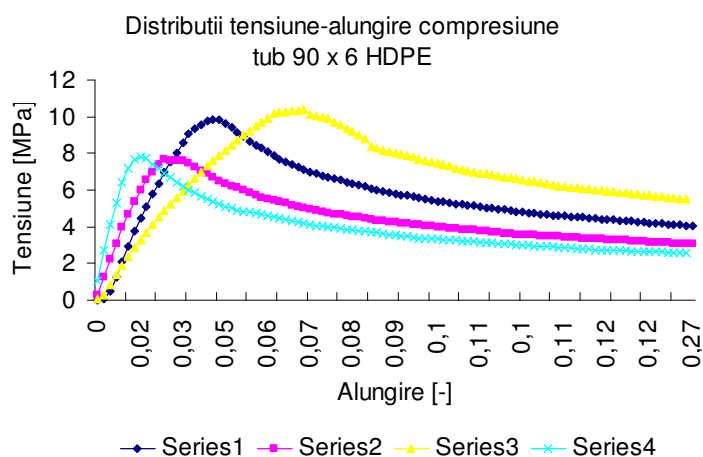


Figura 4.39 *Dependențele tensiune - scurtare specifică la compresiune 90x6*

#### 4.5. Încercarea polietilenei de înaltă densitate (HDPE) la încovoiere prin metoda celor patru puncte

Au fost debitate câte cinci epruvete cu lungimea de 150 mm și lățimea de 10 mm din următoarele tipuri de tuburi (diametru x grosime perete): Tub HDPE 40 mm x 2,3 mm; Tub HDPE 63 mm x 4 mm; Tub HDPE 90 mm x 6 mm.

Grosimea epruvetei este grosimea peretelui tubului respectiv.

Epruvetele au fost încercate la încovoiere utilizând metoda celor patru puncte, pe mașina universală de încercare a materialelor, tip Lloyd Instruments LR5Kplus, cu o sarcină maximă de 5 kN.

Au fost folosite următoarele viteze de încercare: 1 mm/min; 5 mm/min; 10 mm/min; 20 mm/min. Distanța dintre reazemele poansonului superior a fost de 27 mm iar distanța dintre reazemele inferioare a fost de 80 mm. Detaliile încercărilor la încovoiere prin metoda celor patru puncte sunt prezentate în Fig. 4.40 și 4.41.



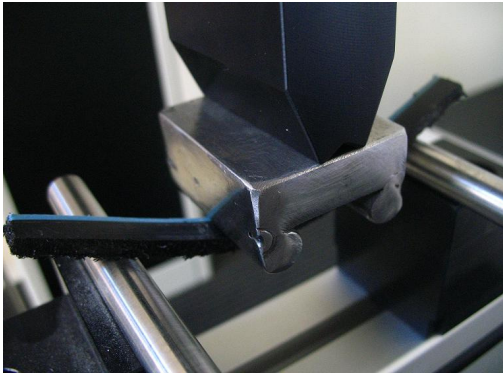


Figura 4.40 Tubul 63x4 mm

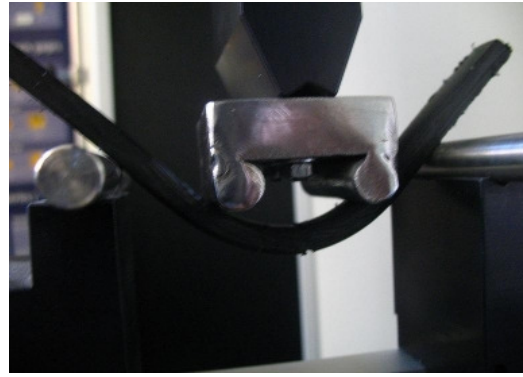


Figura 4.41 Tubul 90x6 mm

Rezultatele încercărilor sunt prezentate în figurile 4.42, 4.43, 4.44 și 4.45.

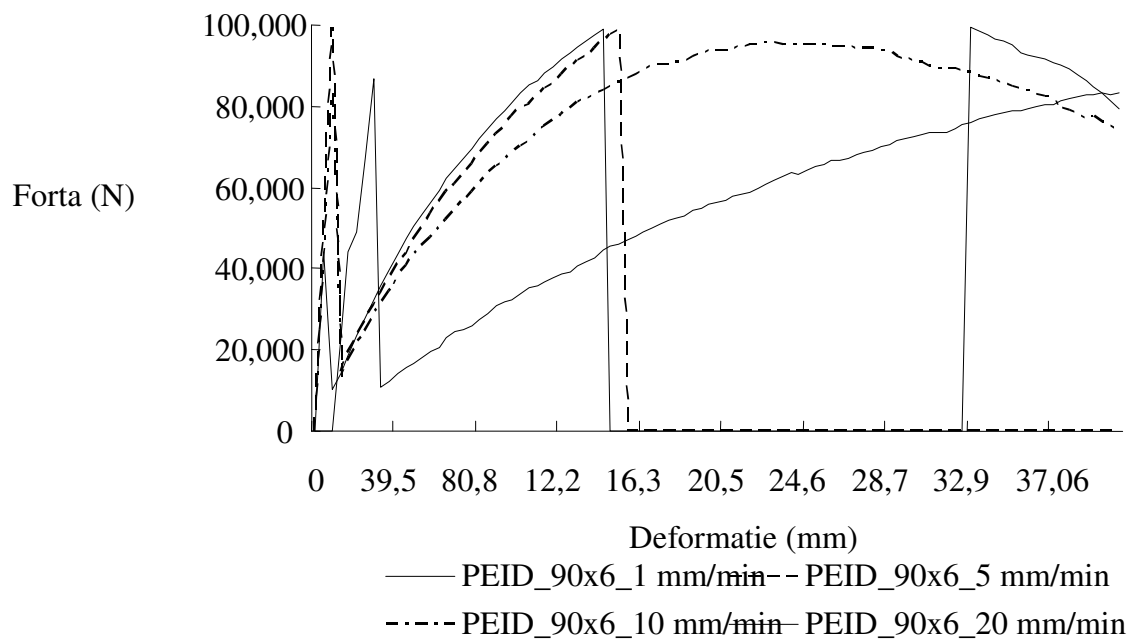


Figura 4.44 Distribuția forță - deformație la încovoierea în patru puncte a epruvetei din polietilenă de înaltă densitate (PEID) debitată din tubul 90x6, utilizându-se patru viteze de încercare

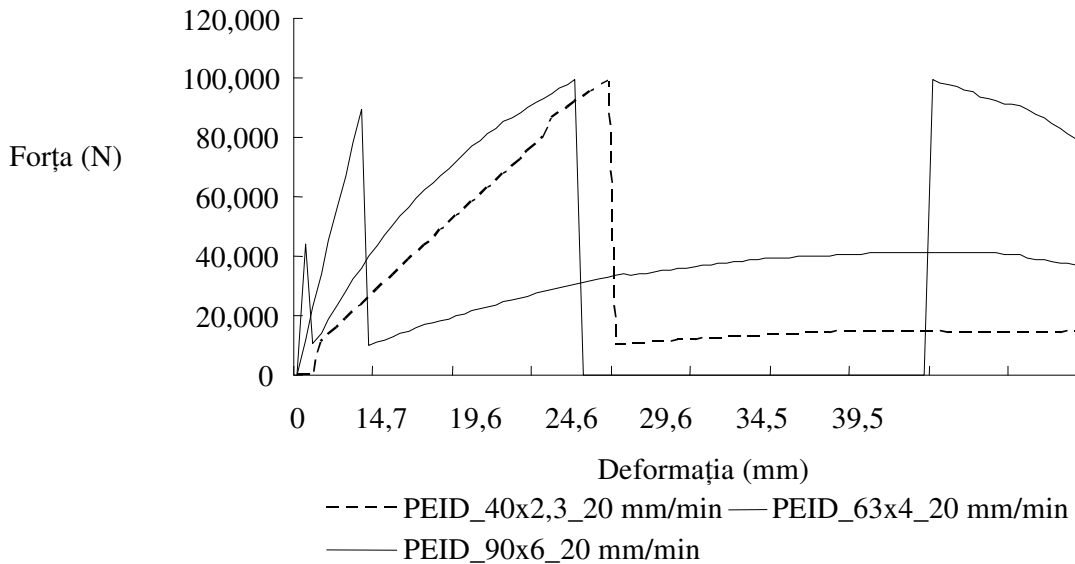


Figura 4.45 Comparația distribuțiilor forță - deformație la încovoierea în patru puncte a epruvetelor din polietilenă de înaltă densitate (PEID) debitate din trei tuburi (viteza de încercare: 20 mm/min)

Modulul lui Young la încercarea de încovoiere prin metoda celor patru puncte, a epruvetelor decupate din tub 63×4 și tub 90×6 este prezentat în figura 4.46.

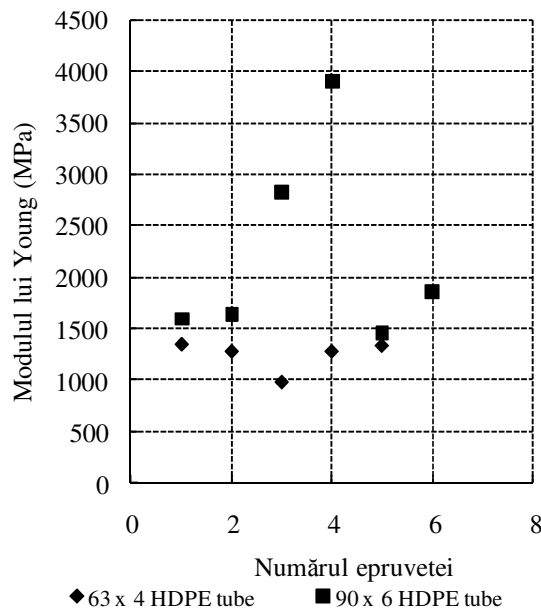


Figura 4.46 Modulul lui Young pentru epruvetele decupate din tuburile 63×4 și 90×6

#### 4.6 Încercarea polietilenei de înaltă densitate (HDPE) la solicitări ciclice tracțiune -compresiune

Au fost debitate epruvete cu lungimea de 150 mm și lățimea de 10 mm din următoarele tipuri de tuburi (diametru x grosime perete): Tub HDPE 110 mm x 5 mm; Tub HDPE 160 mm x 9,5 mm; Tub HDPE 200 mm x 11,5 mm. Grosimea epruvetei este dată de grosimea peretelui tubului respectiv.

Epruvetele au fost încercate la tracțiune-compresiune, pe mașina universală de încercare a materialelor, tip Lloyd Instruments LS 100 (fig. 4.3). A fost folosită viteza de încercare de 15

mm/min. Epruvetele au fost supuse la un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri, la forțe de  $\pm 400$  N,  $\pm 500$  N,  $\pm 600$  N.

#### 4.6.1 Încercarea ciclică tracțiune - compresiune-110x5

Epruvetele supuse încercării sunt prezentate în figura 4.47.

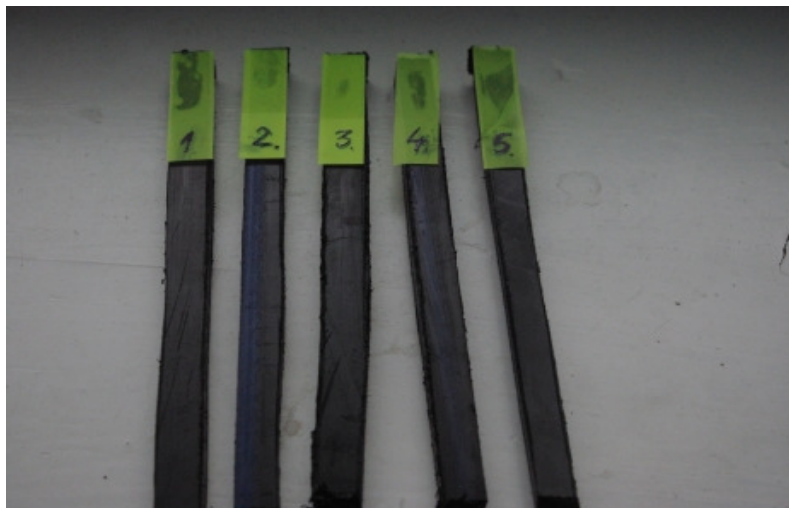


Figura 4.47 Epruvetele supuse încercării ciclice tracțiune - compresiune 110x5

Epruveta 1 a fost solicitată cu  $\pm 400$  N, 1 ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri la viteza de 15 mm/min. Distribuția forță - deformare pentru un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri este redată în figurile 4.48, 4.49 și 4.50.

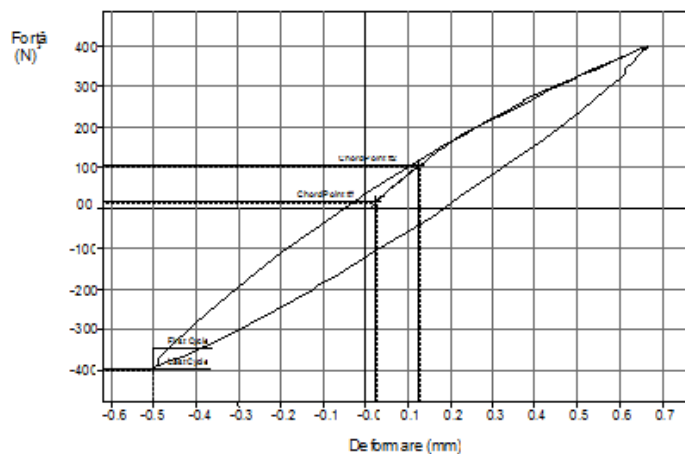


Figura 4.48 Distribuția forță - deformare pentru un ciclu

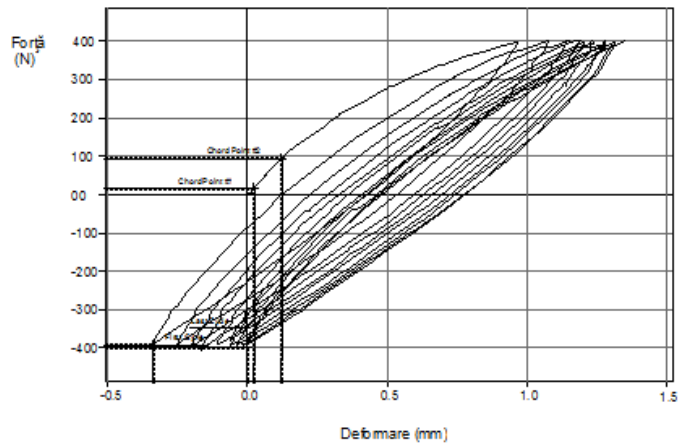


Figura 4.49 Distribuția forță - deformare pentru 10 cicluri

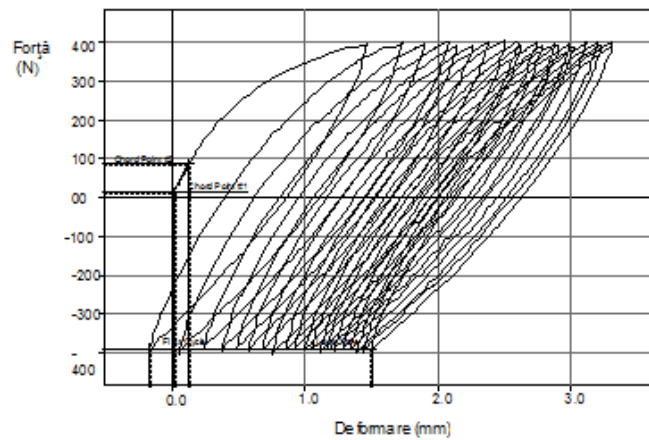


Figura 4.50 Distribuția forță - deformare pentru 20 cicluri

Epruveta 2 a fost solicitată cu  $\pm 500$  N, 1 ciclu, 10 cicluri, 12 cicluri din 20 la viteza de 15 mm/min.

Distribuția forță - deformare pentru un ciclu, 10 cicluri este redată în figurile 4.51, respectiv 4.52, iar la cel de-al 12-lea ciclu din 20, a apărut gătuirea, care este redată în figura 4.53.

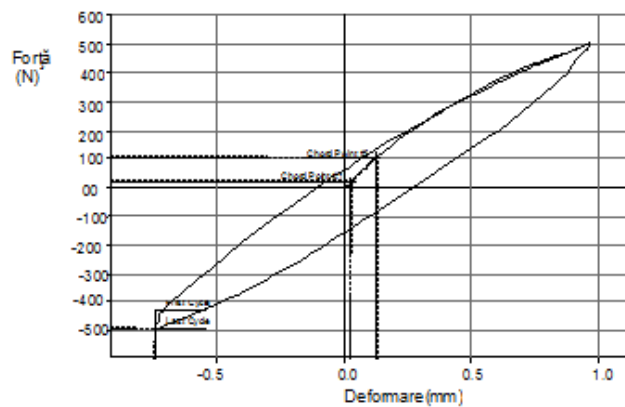


Figura 4.51 Distribuția forță - deformare pentru un ciclu

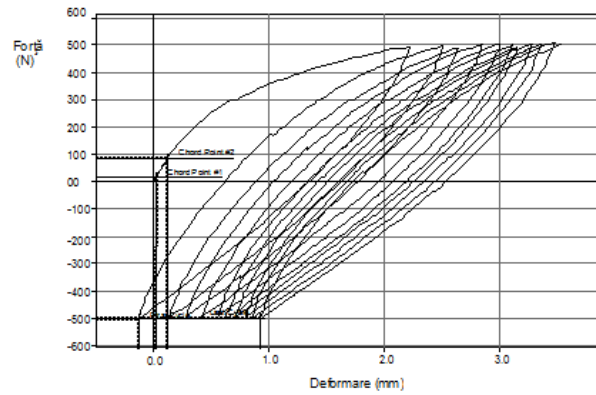


Figura 4.52 Distribuția forță - deformare pentru 10 cicluri

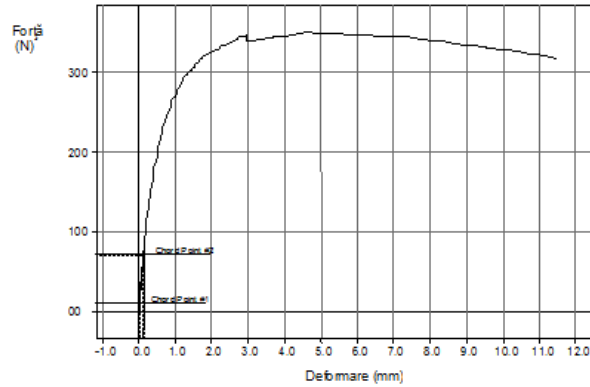


Figura 4.53 Gâtuirea la cel de-al 12-lea ciclu

Epruveta 3 a fost solicitată cu  $\pm 600$  N 1 ciclu, 10 cicluri, 12 cicluri din 20, la viteza de 15 mm/min.

Distribuția forță - deformare pentru un ciclu, 10 cicluri este redată în figurile 4.54, respectiv 4.55, iar la al cel de-al 12-lea ciclu din 20, a apărut gâtuirea, redată în figura 4.56.

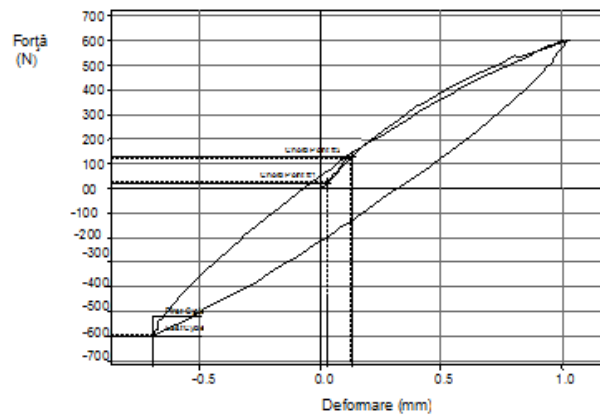


Figura 4.54 Distribuția forță - deformare pentru un ciclu

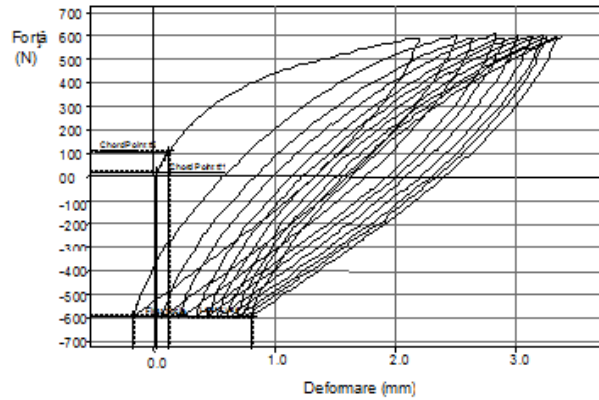


Figura 4.55 Distribuția forță - deformare pentru 10 cicluri

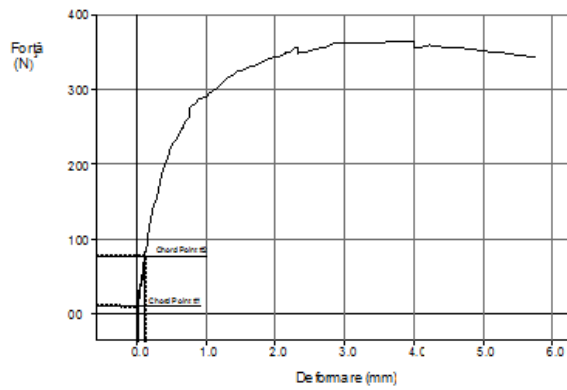


Figura 4.56 Gâtuirea la cel de-al 12-lea ciclu

#### 4.6.2 Încercarea ciclică la tracțiune - compresiune- 160x9,5

Epruvetele supuse încercării sunt prezentate în figura 4.57.

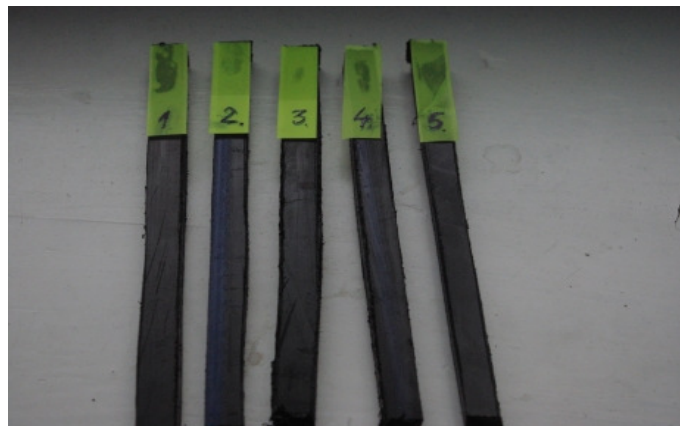


Figura 4.57 Epruvetele supuse încercării ciclice tracțiune-compresiune-160x9,5

*Epruveta 1* a fost solicitată cu  $\pm 400$  N, un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri la viteza de 15 mm/min. Distribuția forță - deformare pentru un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri este redată în figurile 4.58, 4.59 și 4.60.

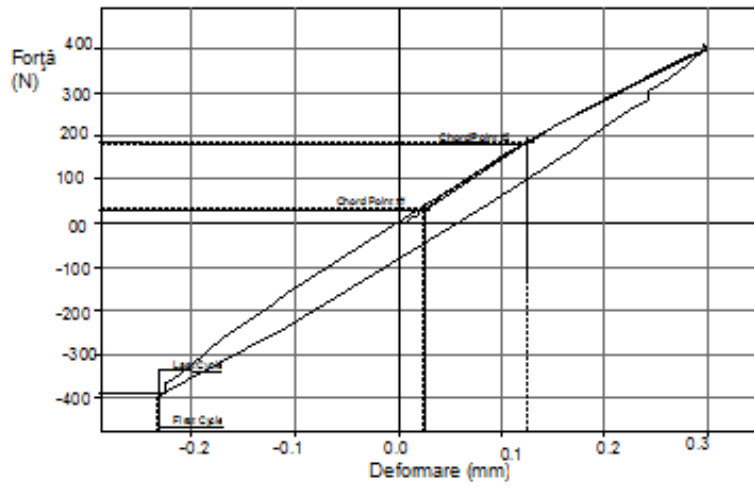


Figura 4.58 Distribuția forță-deformare pentru un ciclu

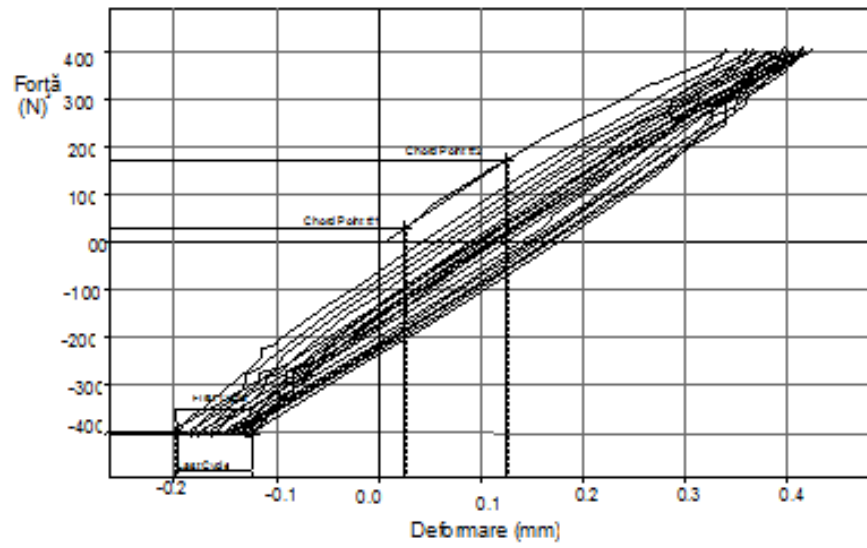


Figura 4.59 Distribuția forță - deformare pentru 10 cicluri

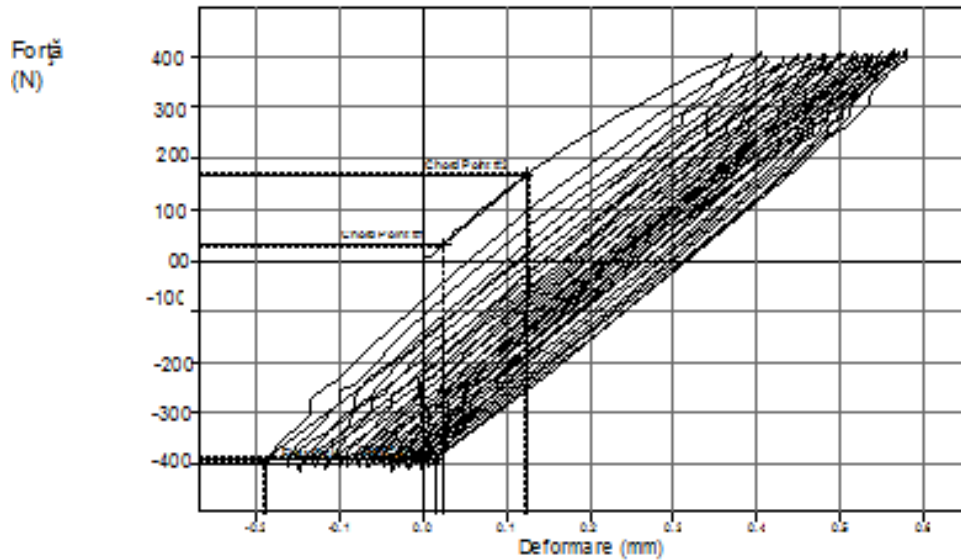


Figura 4.60 Distribuția forță - deformare pentru 20 cicluri

*Epruveta 2* a fost solicitată cu  $\pm 500$  N, un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri la viteza de 15 mm/min.

*Epruveta 3* a fost solicitată cu  $\pm 600$  N, un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri la viteza de 15 mm/min.

#### 4.6.3 Încercarea la tracțiune - compresiune ciclică 200x11,5

Epruvetele supuse încercării sunt prezentate în figura 4.67.



Figura 4.67 Epruvetele supuse încercării ciclice tracțiune-compresiune- 200x11,5

*Epruveta 1* a fost solicitată cu  $\pm 400$  N, un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri la viteza de 15 mm/min.

Distribuția forță - deformare pentru un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri este redată în figurile 4.68, 4.69 și 4.70.



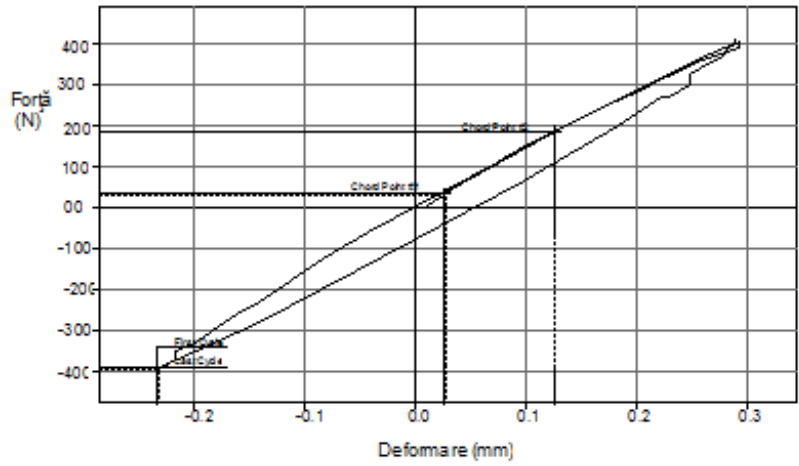


Figura 4.68 Distribuția forță - deformare pentru un ciclu

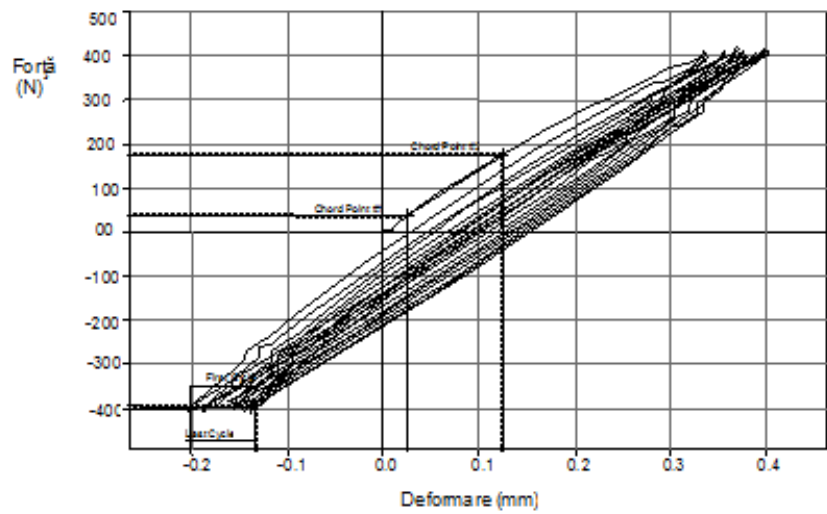


Figura 4.69 Distribuția forță - deformare pentru 10 cicluri

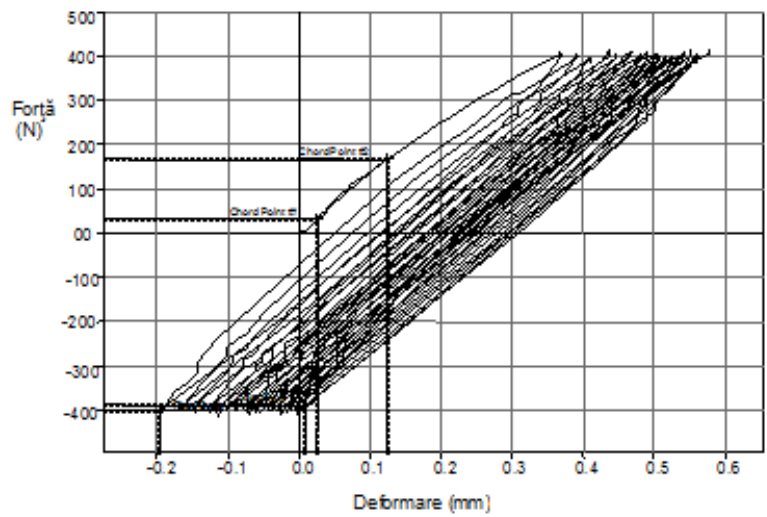


Figura 4.70 Distribuția forță - deformare pentru 20 cicluri

Epruveta 2 a fost solicitată cu  $\pm 500$  N, un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri la viteza de 15 mm/min.

Epruveta 3 a fost solicitată cu  $\pm 600$  N, un ciclu, 10 cicluri, 20 de cicluri la viteza de 15 mm/min.

#### 4.7. Sistematizarea rezultatelor solicitărilor ciclice la tracțiune - compresiune

Histerezisul maxim, definit ca diferența dintre deformarea la ultimul ciclu și deformarea la primul ciclu, este reprezentat în figura 4.77.

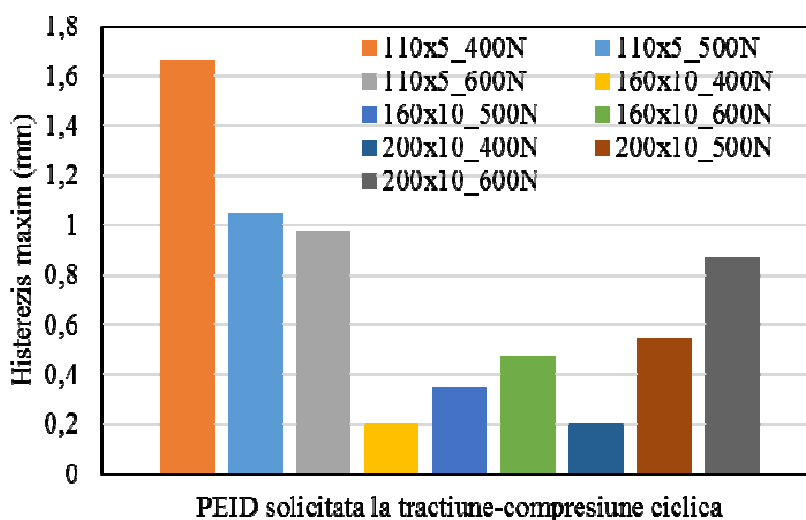


Figura 4.77 Histerezisul la solicitările ciclice pentru polietilena de înaltă densitate 110x5, 160x9,5 și 200x11.5

Modulul lui Young, pentru epruvetele 1, 2 și 3, la încercarea ciclică tracțiune -compresiune - 110x5, pentru un ciclu, 10 cicluri și 20 de cicluri, la solicitări de 400N, 500N și 600N, este reprezentat în figura 4.78.

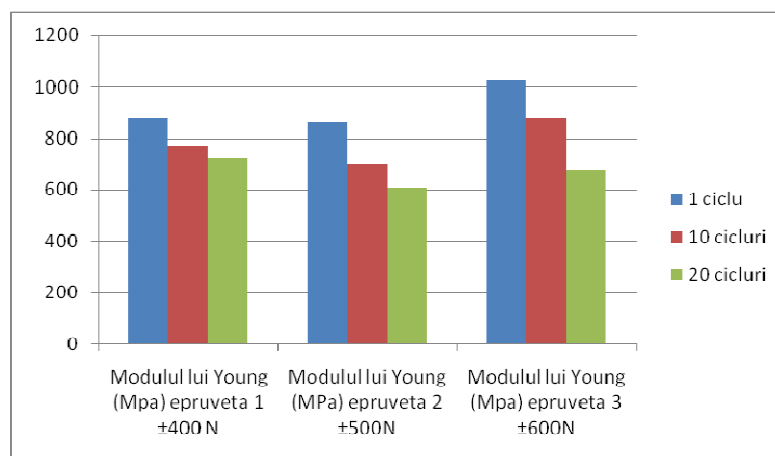


Figura 4.78 Modulul lui Young pentru încercarea ciclică tracțiune -compresiune - 110x5

Modulul lui Young, pentru epruvetele 1, 2 și 3, la încercarea ciclică tracțiune -compresiune -  $160 \times 10$ , pentru un ciclu, 10 cicluri și 20 de cicluri, la solicitări de 400 N, 500 N și 600 N, este reprezentat în figura 4.79.

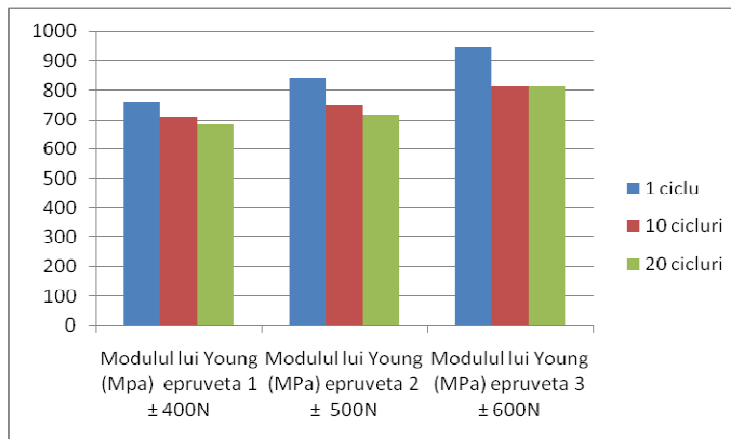


Figura 4.79 Modulul lui Young pentru încercarea ciclică tracțiune - compresiune -  $160 \times 9,5$

Modulul lui Young, pentru epruvetele 1, 2 și 3, la încercarea ciclică tracțiune-compresiune -  $200 \times 11,5$ , pentru un ciclu, 10 cicluri și 20 de cicluri la solicitări de 400 N, 500 N și 600 N, este reprezentat în figura 4.80.

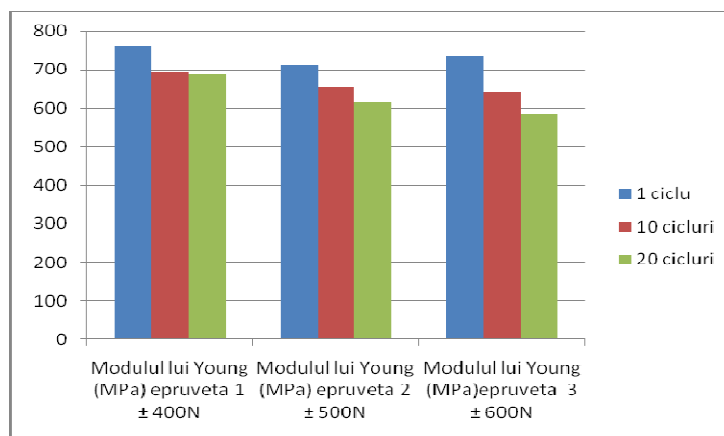


Figura 4.80 Modulul lui Young pentru încercarea ciclică tracțiune - compresiune -  $200 \times 11,5$

#### 4.8 Concluzii

Atunci când un utilizator achiziționează tuburi pentru rețeaua de distribuție pe care o exploatează, ar trebui să aibă la îndemână câteva *caracteristici mecanice și elastice* ale tuburilor pe care le achiziționează, pentru a-și putea face o imagine asupra felului în care acestea se vor comporta în exploatare. Din cauza faptului că, nu există epruvete turnate sub presiune din același material cu cel al tuburilor, pentru cele mai frecvent folosite dimensiuni de tuburi din rețeaua de alimentare trebuie decupate epruvete din țevi.

Mai multe epruvete din polietilenă de înaltă densitate au fost debitate din două tipuri de tuburi, cele mai des utilizate în rețeaua de distribuție:

- tub din polietilenă de înaltă densitate cu dimensiunile (diametru x grosime perete) 63 mm x 4 mm;
- tub din polietilenă de înaltă densitate cu dimensiunile 90 mm x 6 mm.

Epruvetele au fost încercate la tracțiune până la rupere.

Următoarele distribuții ar trebui cunoscute de către un utilizator de țevă:

- distribuția modului de elasticitate longitudinal;
- distribuția tensiunii la sarcina maximă în funcție de alungirea la sarcina maximă;
- distribuția forței la sarcina maximă în funcție de deformația la sarcina maximă;
- distribuția modului de elasticitate longitudinal în funcție de rezistența la tracțiune;
- distribuția rigidității în funcție de forța la sarcina maximă;
- distribuția tensiunii la deformația maximă în funcție de alungirea la deformația maximă;
- distribuția forței la rupere în funcție de deformația la rupere;
- distribuția tensiunii la rupere în funcție de alungirea la rupere.

Graficele vor fi prezentate în figurile 4.81 - 4.88. Sub această formă a dependențelor ar trebui să le prezinte și producătorul, celui care urmează să utilizeze tuburile în rețea.

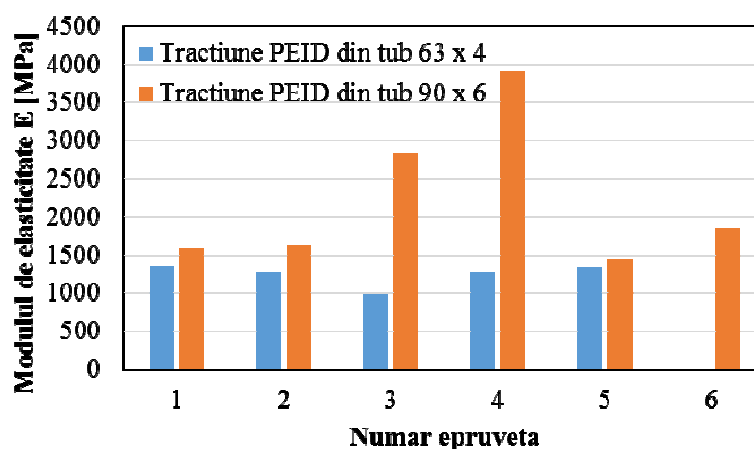


Figura 4.81 Distribuția modului de elasticitate longitudinal pentru două tipuri de tuburi de polietilenă de înaltă densitate

Astfel, utilizatorul poate observa că:

- pe măsură ce diametrul tubului crește, distribuția valorilor crește;
- valorile modului de elasticitate s-au încadrat între 1500 și 4000 MPa, pentru epruvetele din polietilenă de înaltă densitate debitate din tubul 90 mm x 6 mm și între 1000 și 1400 MPa pentru epruvetele de polietilenă de înaltă densitate debitate din tubul 63 mm x 4 mm;
- media tensiunii la sarcina maximă, în funcție de alungirea la sarcina maximă, s-a încadrat în jurul valorii de 20 MPa, pentru ambele tipuri de epruvete;
- forța la sarcina maximă a polietilenei de înaltă densitate debitată din tubul 90 x 6 mm s-a situat între 1,2 kN și 1,6 kN iar în cazul polietilenei de înaltă densitate debitată din tubul 63 x 4 mm s-a situat între 0,7 kN și 0,8 kN;
- cea mai importantă împrăștiere a valorilor s-a obținut la distribuția tensiunii la deformația maximă în funcție de alungirea la deformația maximă, pentru ambele tipuri de epruvete debitate din tuburi de polietilenă de înaltă densitate.

În acest mod, valorile proprietăților mecanice ale țevilor pot fi comparate de către utilizator cu cele din literatura de specialitate. Astfel, achiziția se face în cunoștință de cauză, nu doar pe baza reclamelor comerciale, care materializează strategiile de marketing ale producătorului de tuburi.

Din încovoierea în patru puncte a polietilenei de înaltă densitate (PEID) debitată din tubul 40 mm x 2,3 mm se pot trage următoarele concluzii:

- forța maximă de încovoiere a fost de 100 N;
- la o deformație de 26,23 mm rigiditatea materialului a suferit o scădere bruscă, distribuția ulterioară forță - deformație indicând o creștere nesemnificativă a forței;
- modulul lui Young la încovoiere a fost 1366 MPa;
- lucrul mecanic la sarcina maximă s-a situat în jurul valorii de 404,47 Nmm.

Din încovoierea în patru puncte a polietilenei de înaltă densitate (PEID) debitată din tubul 63 mm x 4 mm se pot trage următoarele concluzii:

- forța maximă de încovoiere a fost de 90 N;
- la o deformație de 35 mm rigiditatea materialului a suferit o scădere bruscă;
- Modulul lui Young la încovoiere a fost 647,36 MPa;
- Lucrul mecanic la sarcina maximă s-a situat în jurul valorii de 1048,33 Nmm.

Din încovoierea în patru puncte a polietilenei de înaltă densitate (PEID) debitată din tubul 90 mm x 6 mm se pot trage următoarele concluzii:

- forța maximă de încovoiere a fost de 90 N pentru viteza de încercare de 1 mm/min;
- forța maximă de încovoiere a fost de 100 N pentru viteza de încercare de 5 mm/min;
- forța maximă de încovoiere a fost de 95 N pentru viteza de încercare de 10 mm/min;
- forța maximă de încovoiere a fost de 100 N pentru viteza de încercare de 20 mm/min;
- toate epruvetele debitate din tuburi au suferit o scădere bruscă a rigidității materialului;
- modulul lui Young la încovoiere a fost 414,34 MPa la o viteză de încercare de 1 mm/min;
- modulul lui Young la încovoiere a fost 940,59 MPa la o viteză de încercare de 5 mm/min;
- modulul lui Young la încovoiere a fost 796,2 MPa la o viteză de încercare de 10 mm/min;
- la viteza de încercare de 20 mm/min, modulul lui Young a avut valoarea de 1135,71 MPa;
- lucrul mecanic la sarcina maximă s-a situat în jurul valorii de 1142,9 Nmm la o viteză de încercare de 1 mm/min;
- lucrul mecanic la sarcina maximă s-a situat în jurul valorii de 1994,61 Nmm la o viteză de încercare de 5 mm/min;
- lucrul mecanic la sarcina maximă s-a situat în jurul valorii de 1549,4 Nmm la o viteză de încercare de 10 mm/min;
- pentru o viteză de încercare de 20 mm/min, lucrul mecanic la sarcina maximă s-a situat în jurul valorii de 1693,81 Nmm;
- din comparația dependențelor forță - deformație la încovoierea în patru puncte a polietilenei de înaltă densitate (PEID) debitată din trei tipuri de tuburi (viteza de încercare: 20 mm/min) se constată că scăderea rigidității materialului s-a produs la o deformație mai mică la materialul debitat din tubul PEID 90 mm x 6 mm decât cel debitat din tubul PEID 40 mm x 2,3 mm.

Încercările ciclice dau cele mai bune date despre material, întrucât, ruperea țevii se produce după modelul unei solicitări ciclice [92].

Din figura 4.77 se poate observa faptul că, diferența maximă dintre deformația la primul ciclu de tracțiune-compresiune și ultimul ciclu de solicitare se obține în cazul epruvetei din polietilenă de înaltă densitate debitată din tubul 110 mm x 5 mm, solicitat ciclic în intervalul  $\pm 400$  N.

Interesant este faptul că, acest histerezis maxim se micșorează pe măsură ce limitele solicitării ciclice cresc de la  $\pm 400$  N la  $\pm 600$  N. De exemplu, pentru epruvetele debitate din acest tip de tub, histerezisul maxim scade de la 1,65 mm la 0,95 mm.

Cel mai redus histerezis maxim s-a obținut în cazul solicitării de tracțiune-compresiune ciclică în intervalul  $\pm 400$  N, pentru epruvetele de polietilenă de înaltă densitate debitate din tuburile de dimensiuni 160 mm x 10 mm și 200 x 10 mm. Pentru aceste epruvete, debitate din tuburile 160 mm x 10 mm și din 200 mm x 10 mm, histerezisul maxim crește în același timp cu creșterea limitelor solicitării ciclice de la  $\pm 400$  N la  $\pm 600$  N.

În cazul epruvetelor debitate din tuburile 160 mm x 10 mm, histerezisul maxim crește de la 0,2 mm la 0,47 mm, iar în cazul epruvetelor debitate din tuburile 200 mm x 10 mm, histerezisul maxim crește mai pregnant, adică, de la 0,2 mm ( $\pm 400$  N) la 0,87 mm ( $\pm 600$  N).

## CAPITOLUL 5

# ANALIZA CU METODA ELEMENTELOR FINITE A COTULUI ÎN MASIV DE ANCORAJ ȘI A TUBULUI PRESURIZAT

### 5.1 Generalități

Metoda elementelor finite (MEF) permite obținerea unor rezultate rapide, precise și cu costuri reduse, pentru problemele legate de determinarea tensiunilor și deformațiilor dintr-un corp elastic. Se pot studia probleme variate și de o mare importanță în practică inginerescă [12, 14, 18, 17, 61, 66, 40, 28].

Metoda elementelor finite reprezintă o extindere a unor metode cunoscute din Rezistența Materialelor, cum ar fi, metoda deplasărilor.

În prezent, această metodă poate fi utilizată pentru rezolvarea cu succes a unor probleme variate și complexe, în cazul unor structuri alcătuite din bare, plăci și blocuri (corpuri masive). Pentru a rezolva o structură utilizând MEF pot fi aplicate atât metoda deplasărilor, cât și metoda complementară, care este metoda eforturilor [25, 91, 41, 42, 52].

În momentul de față, metoda este consolidată iar rezultatele obținute în domeniu sunt concretizate în programe de calcul cunoscute de către specialiști [119, 29, 45, 76, 77].

Pentru structura care va fi analizată în continuare, se impune folosirea unor elemente finite de tip placă. Se pot obține astfel, rapid, informații referitoare la starea de tensiune și de deformație din structură.

### 5.2 Modelul structural al unui cot într-un masiv de ancoraj

Modelul geometric al unui cot fabricat din polietilenă de înaltă densitate (HDPE), prins într-un masiv de ancoraj din beton, este prezentat în figura 5.1.

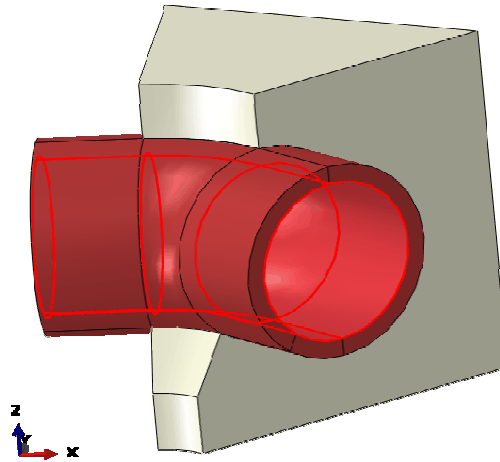


Figura 5.1 Modelul geometric al unui cot în masiv de ancoraj

Modelul are ca date de intrare:

- presiunea în interiorul cotului, rezultată din calculul analitic, luată ca presiune de referință perpendiculară pe peretele interior al cotului, pe suprafața evidențiată în roșu;
- încastrări: capetele cotului, ancora de beton pe exterior, astfel încât, toate gradele de libertate sunt anulate.

Tehnica de încastrare element în Abaqus:

- este folosită la specificarea unui element sau grup de elemente care sunt încastrate într-un grup de elemente gazdă, al căror răspuns va fi folosit la constrângerea gradelor de libertate al nodurilor încastrate;
- se poate folosi în analize liniare sau neliniare;
- nu este disponibilă pentru elemente gazdă care au rotații ca grade de libertate;
- poate fi folosită la modelarea unor învelitori sau a elementelor de suprafață care produc încastrare într-un set tridimensional de elemente solide.

Tehnica de încastrare element este folosită la specificarea faptului că, un element sau un grup de elemente sunt încastrate în elementele gazdă. Abaqus caută relațiile geometrice între nodurile elementelor încastrate și elementele gazdă. Dacă un nod al unui element încastrat se întinde în interiorul unui element gazdă, translațiile nodului sunt eliminate și nodul devine nod încastrat.

Următoarele tipuri de "elemente încastrate în elemente gazdă" sunt disponibile în modelele bidimensionale:

- grindă în solid;
- solid în solid;
- teanc în solid.

Elementele gazdă pot avea doar translații iar numărul de translații în nod în elementele încastrate trebuie să fie egal cu numărul translațiilor în nodul elementului gazdă.

Prin definiție, elementele din vecinătatea elementelor încastrate sunt căutate pentru elementele care conțin noduri încastrate. Aceste noduri sunt apoi constrânse de răspunsul acestor elemente gazdă [119].

Astfel, pentru analiza efectuată, restricțiile privind încastrarea s-au impus prin datele de intrare, modelului din figura 5.1.

Abordările au în parte avantaje și limitări:

O simulare de contact, folosind perechi de contact sau contactul general, se definește specificând:

- definițiile suprafeței pentru corpurile în contact;
- interacțiunile de contact;
- orice alte proprietăți, în afară de definiție, ale suprafeței care trebuie considerate în interacțiunile de contact;
- proprietăți modele contact mecanic, cum ar fi relația presiunii de contact.

O suprafață bazată pe elemente:

- poate fi definită pe elemente solide, structurale, rigide;
- poate fi deformabilă sau rigidă;
- poate fi definită și la interiorul oricărui corp modelat cu elemente continue, învelitoare, membrană, țevă.

În analiză se asociază numele tuturor suprafețelor create, bazate pe elemente [119]. Numele poate fi folosit și cu alte trăsături, pentru definirea contactului, încărcării sau restricțiilor impuse suprafeței.

În cadrul analizei efectuate s-a definit presiunea în interiorul cotului, rezultată din calculul analitic, ca presiune de referință și care este perpendiculară pe peretele interior al cotului, pe suprafața evidențiată în roșu în figura 5.4.

Contactul între masivul din beton și cotul fabricat din polietilenă de înaltă densitate este considerat fără frecare. De asemenea, s-a considerat pentru simplitate și pentru transmiterea forțelor, contactul direct.

Pentru suprafețele bazate pe elemente, Abaqus folosește o geometrie cu fațete, definită de o plasă de elemente finite, ca definiție dată suprafeței.

Pentru o aproximare bună a suprafețelor fizice existente, trebuie folosit un număr suficient de plase clare.

Se pot defini fațetele unei suprafețe specificând o serie de elemente.

În analiza efectuată, fiind vorba de cotul unei țevi, nu se pot specifica fețele pentru a defini o suprafață de-a lungul țevii, conectivitatea elementelor neputând defini un element unic.

Suprafețele bazate pe element create în lungul unei țevi sunt folosite doar ca suprafețe de lucru în interacțiunile de contact.

Discretizarea modelului structural se prezintă în figura 5.5.



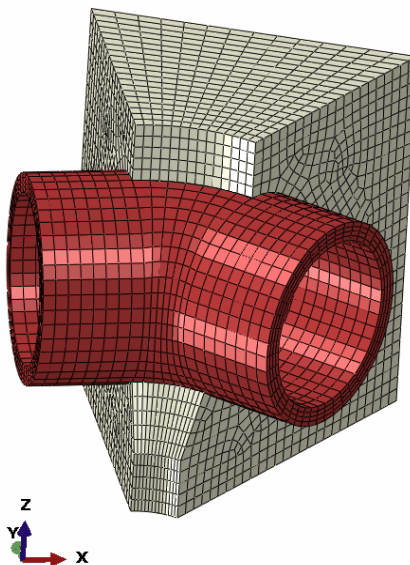


Figura 5.5 Discretizarea modelului structural

Discretizarea modelului structural: Numărul total de noduri: 14985, Numărul total de elemente: 12370, 12174 elemente paralelipipedice de tip C3D8R; 196 elemente prismatice de tip C3D6. Grade de libertate (DOFs): deplasările în noduri (3 translații + 3 rotații). Pentru mai multă acuratețe, în reprezentarea tensiunilor în cot, s-au folosit patru elemente pe grosime. Nu s-au considerat influențele greutății betonului, cotului și a coloanei de apă.

Datele necesare analizei cu MEF [119], privind cotul și masivul (densitatea, modulul de elasticitate longitudinal, coeficientul lui Poisson) se prezintă în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Structura cot-beton

Dens_beton	2,3	kg/m <sup>3</sup>
E_beton	2.000	MPa
nu_beton	0,2	---
Dens_cot	0,97	Kg/m <sup>3</sup>
E_cot	1.300	MPa
nu_cot	0,33	---

### 5.3 Rezultate cot-masiv ancoraj

Rezultatele analizei numerice cu MEF a ansamblului cot - masiv ancoraj se prezintă în figurile 5.6 - 5.16.

1. Tensiunile în ansamblul cot - masiv sunt reprezentate în figura 5.6, în MPa.

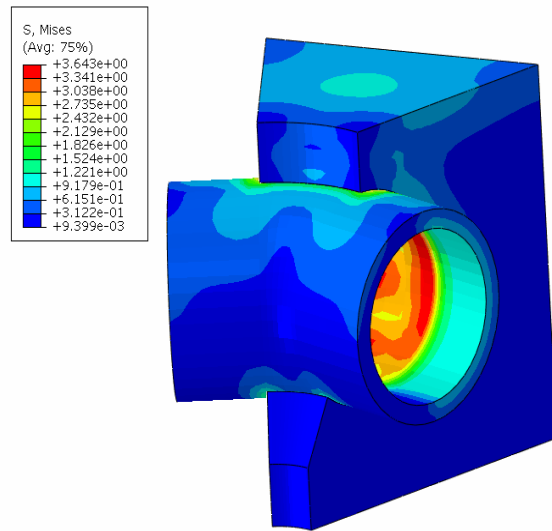


Figura 5.6 Câmpul tensiunilor în modelul structural cot-masiv

2. Distribuția tensiunilor într-o secțiune transversală cot - masiv este reprezentată în figura 5.7, în MPa.

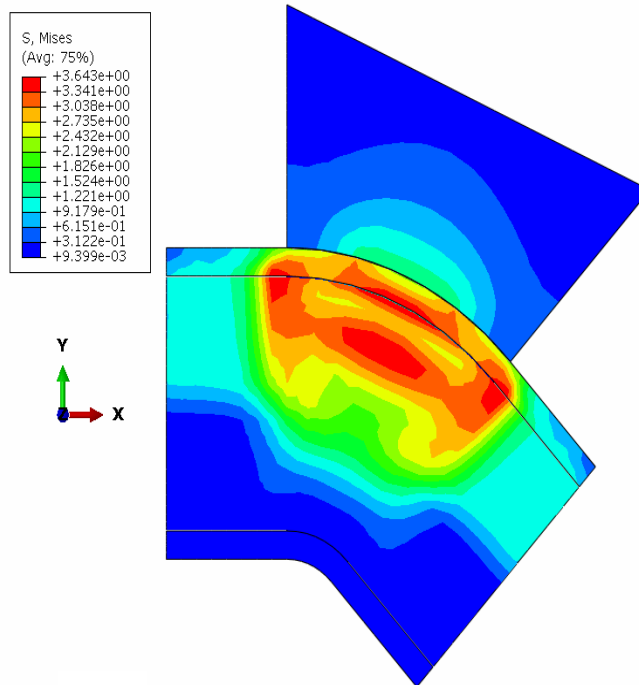


Figura 5.7 Distribuția tensiunilor în secțiunea transversală cot-masiv

3. Tensiunile existente în masivul de beton sunt reprezentate în figura 5.8, în MPa.

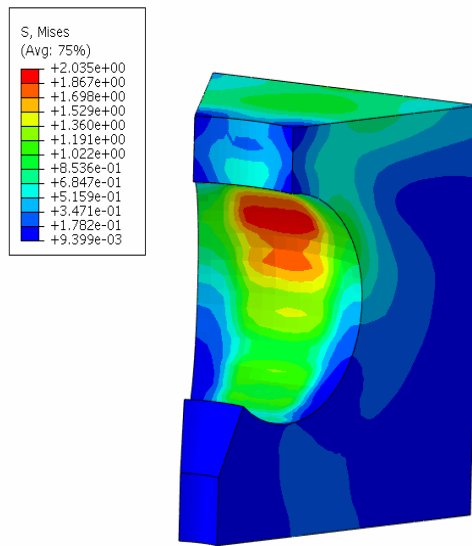


Figura 5.8 *Tensiuni în masivul din beton*

Tensiuni în beton: max 2,035 MPa  $\ll \sigma_a = 20$  MPa.

Concluzie 1: masivul din beton nu va se distruge din cauza acestei încărcări, dacă a fost bine executat.

6. *Presiunile de contact pe suprafața de contact între cot și masiv sunt redată în figura 5.13, în MPa.*

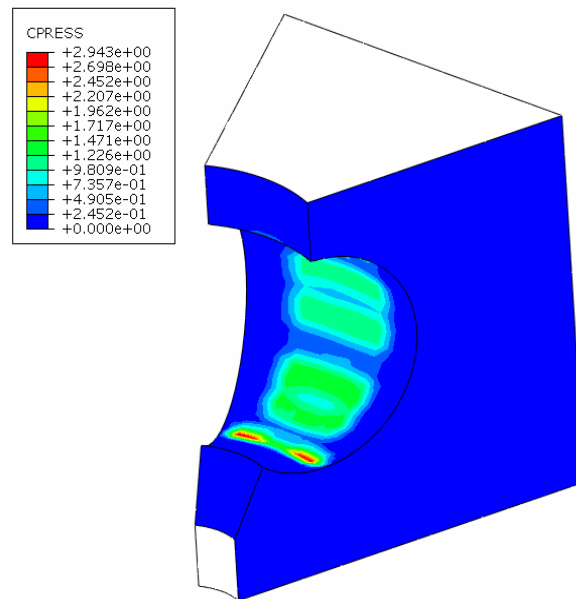


Figura 5.13 *Presiunile de contact pe suprafața masivului*

Presiunea extrasă de pe suprafața de contact cot - masiv beton: max 2.943 MPa (fig. 5.13).

Valoarea medie a presiunii pe suprafață este:  $p = 0.66878$  MPa

Aria suprafeței de contact:  $A = 79022$  mm<sup>2</sup>. Forța care acționează asupra masivului (estimată, suprafața respectivă nefiind plană)  $F = p \cdot A = 5.2848 \cdot 10^4$  N

7. Tensiunile care se dezvoltă în cot se prezintă în figura 5.14, în MPa

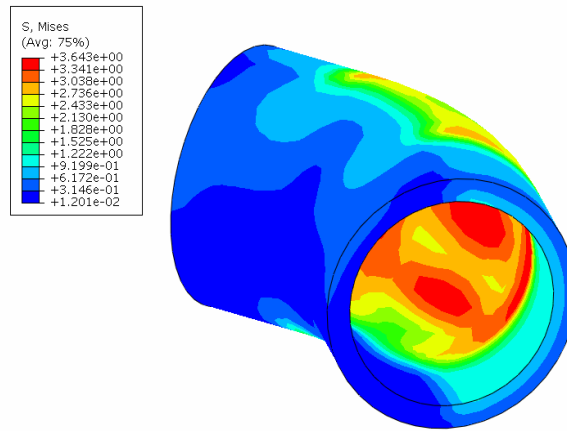


Figura 5.14 Tensiuni în cotul din polietilenă

Tensiuni în cot: max 3.643 MPa << 21.9 MPa, care este rezistența admisibilă a materialelor de tip PE 100.

Concluzie 2a: cotul este bine dimensionat, iar dacă este bine montat, nu se va distruge din cauza solicitărilor aplicate asupra materialului într-o utilizare normală.

9. Deformarea cotului confecționat din polietilenă de înaltă densitate este reprezentată în figura 5.16, unitatea de măsură fiind adimensională.

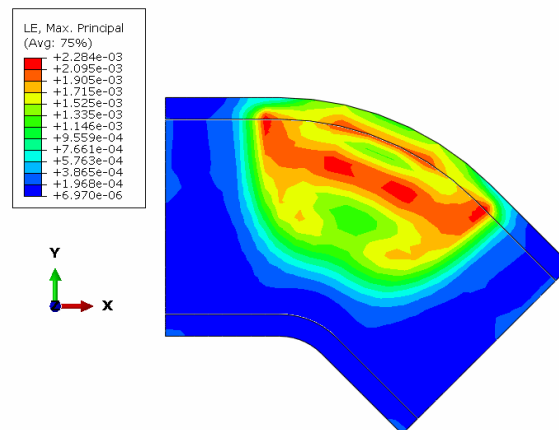


Figura 5.16 Deformarea plastică a cotului

Deformarea plastică în cot: la întindere, max 0.228% << 840% (alungirea la rupere a materialelor de tip PE 100).

Concluzie 2b: solicitările existente asupra materialului nu sunt de natură de a-l distruge. Dacă fabricarea cotului și dacă montarea au fost corect executate și nu există incluziuni, microfisuri sau alte defecte, utilizarea în parametri normali nu distruge integritatea materialului cotului.

#### 5.4 Cazul cotului DN 315 nesrijinit în masiv de ancoraj

Modelul geometric al cotului DN 315, fabricat din polietilenă de înaltă densitate, care este nesrijinit într-un masiv de ancoraj din beton, este prezentat în figura 5.17. Modelul va fi folosit pentru simularea ruperii cotului.

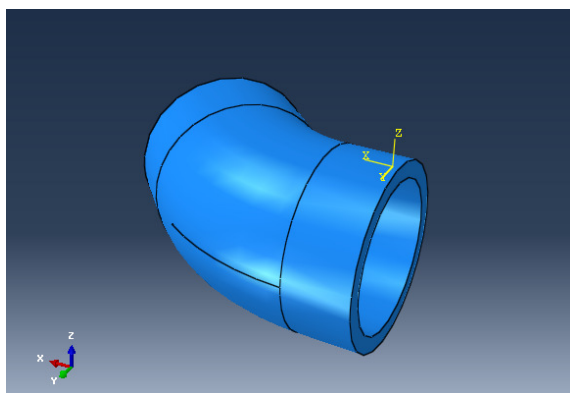


Figura 5.17 Modelul geometric al cotului DN 315 nesrijinit

Pe modelul creat, prezentat în figura 5.17, se pot distinge încastrările impuse acestuia precum și fâșia posibilă crăpături ductile.

Modelul de analiză discretizat este prezentat în figura 5.18.

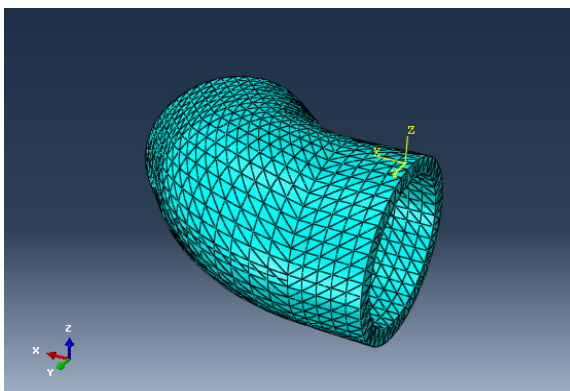


Figura 5.18 Modelul de analiză discretizat al cotului DN315 nesrijinit

Modelul cotului presurizat DN 315, care are creată interacțiunea de tip crăpătură, precum și fâșia crăpăturii, este prezentat în figura 5.19.

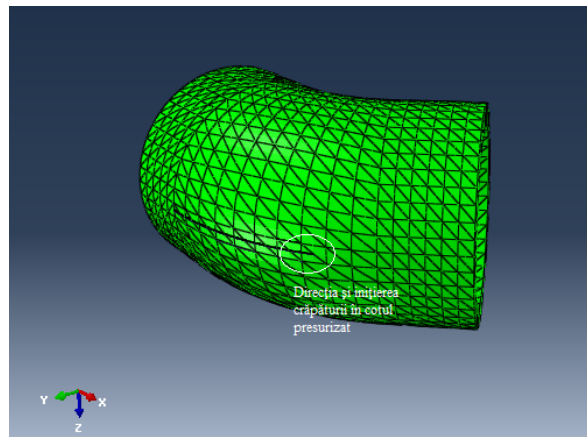


Figura 5.19 Modelul de analiză a crăpăturii cotului DN 315

După efectuarea analizei numerice cu MEF este posibilă prezentarea modelului rupt. Ruperea este ductilă și se produce după modul prezentat în figura 5.20, folosind Abaqus / CAE 6.15 -XFEM.

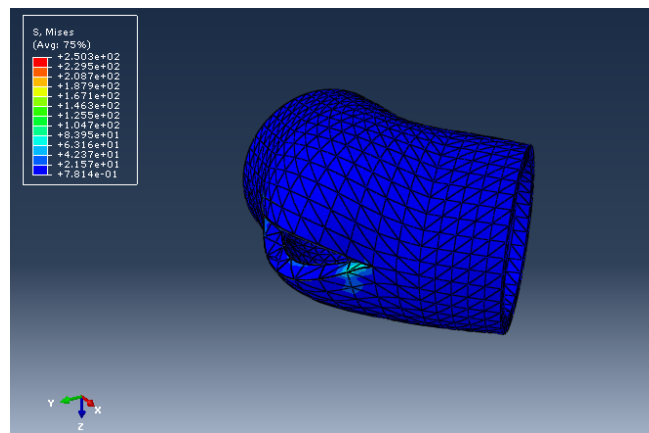


Figura 5.20 Modelul rupt al cotului DN 315

### 5.5 Rezultatele analizei cu MEF a cotului DN 315 nesrijinit

Tensiunea la care s-a produs ruperea: 250,3 MPa > 21.9 MPa, care este rezistența admisibilă a materialelor de tip PE (fig. 5.20).

Nodul modelului care conține un gol, care favorizează inițierea crăpăturii, precum și funcțiile de distanță asociate și , care descriu suprafața, respectiv frontul crăpăturii, sunt prezentate în figura 5.21.

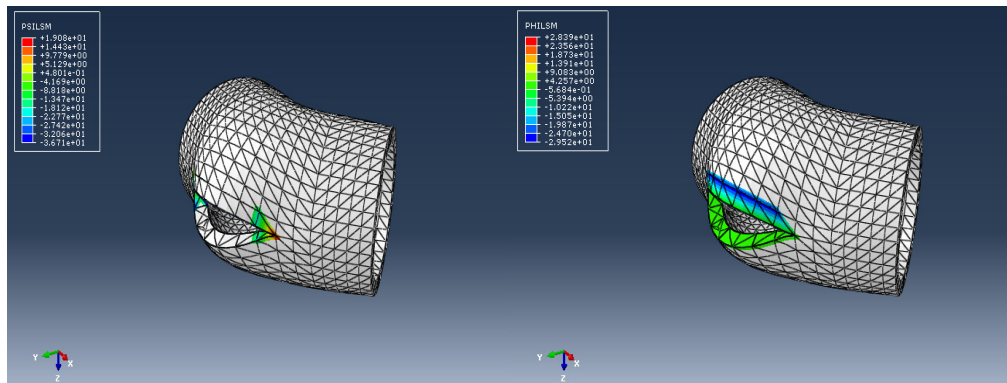


Figura 5.21 Funcțiile de distanță cu mărimile lor, care descriu crăpătura cotului DN315

Modul de deformare a cotului DN 315 și deplasările obținute în urma analizei numerice cu elemente finite pot fi observate în figura 5.22.

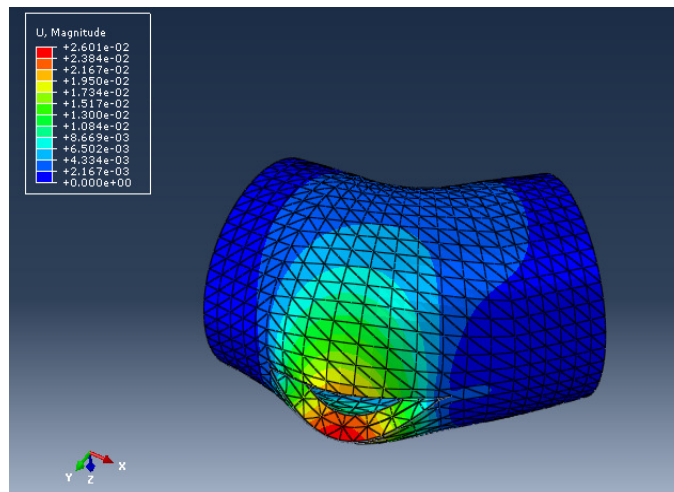


Figura 5.22 Deplasările nodurilor la crăpătură pentru cotul DN315

### 5.6 Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu MEF în cazul cotului DN 315, îngropat în pământ și sprijinit în beton

În figurile următoare se vor prezenta rezultatele analizei stării de tensiune și de deformație efectuate cu MEF. Sunt analizate trei cazuri de încărcare: 1,5 MPa, 5 MPa, 50 MPa. Valoarea uzuală pentru practică este cea de 1,5 MPa.

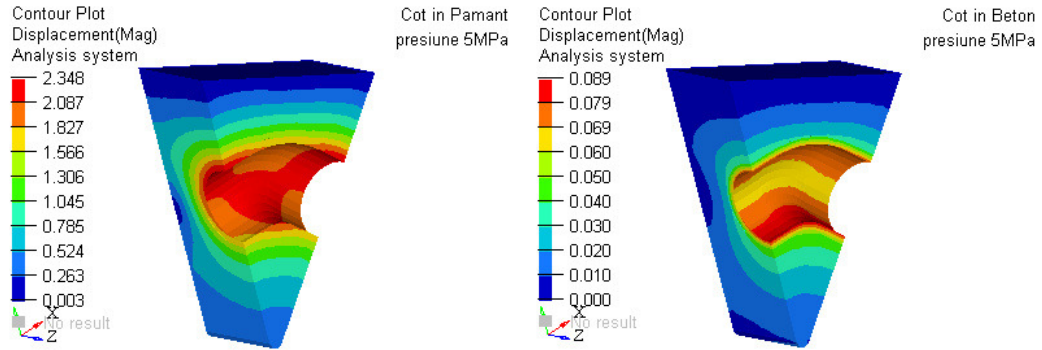
Constantele de material pentru beton și pământ sunt prezentate în tabelul 5.2.

Rezultatele obținute, prezentate în figurile 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 și 5.27, justifică și validează calculul creșterii crăpăturii în cazul cotului îngropat în pământ, unde tensiunile și deplasările sunt mult mai mari decât în cazul cotului ancorat în beton.

Tabelul 5.2

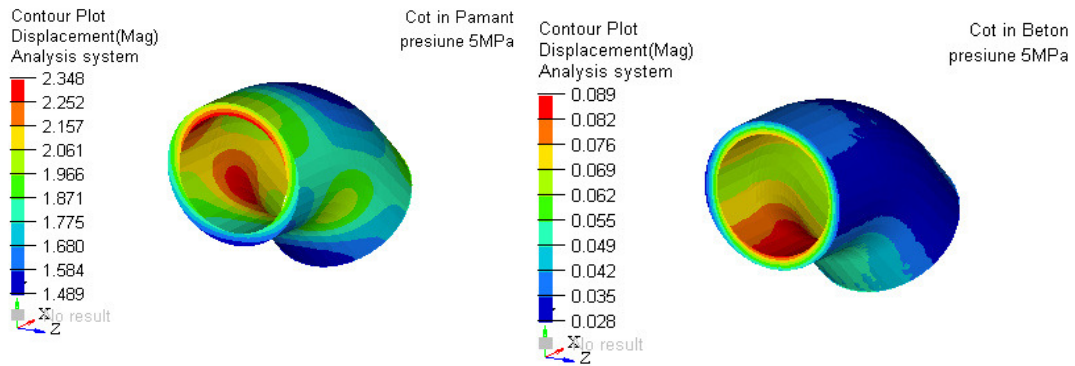
Structura beton-pământ		
Densitate beton	2.400	Kg/m <sup>3</sup>
Modul de elasticitate beton	17.000	MPa
Coef. lui Poisson beton	0,15	---

Densitate pamant	2.000	Kg/m <sup>3</sup>
Modul de elasticitate pamant	50	MPa
Coef. Lui Poisson pamant	0,3	---



b) presiunea de calcul 5 MPa

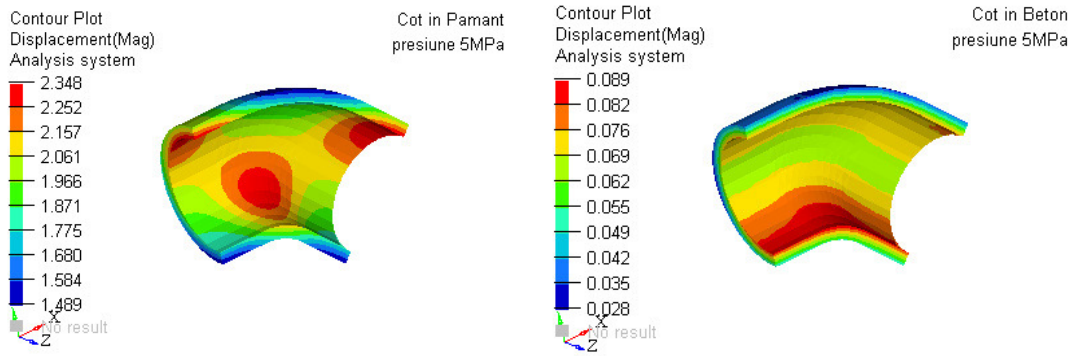
Figura 5.23 *Deplasări ale ansamblului în secțiune, în mm*



b) presiunea de calcul 5 MPa

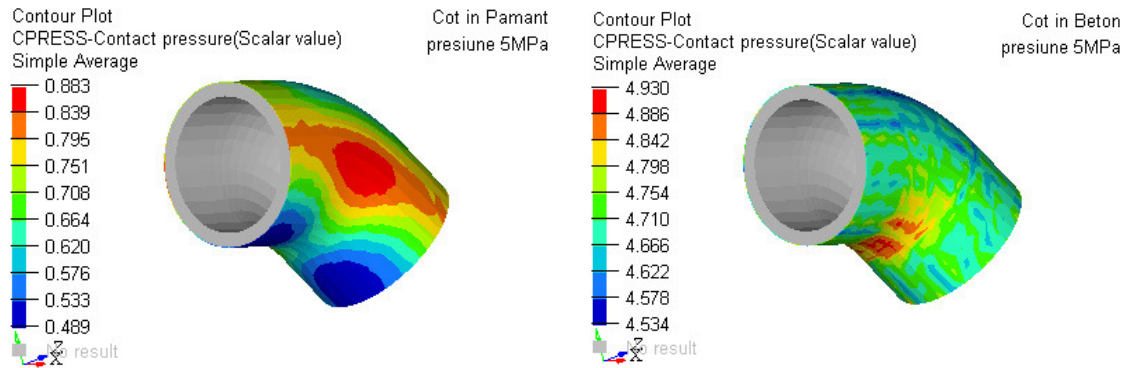
Figura 5.24 *Deplasări rezultante ale cotului, în mm*





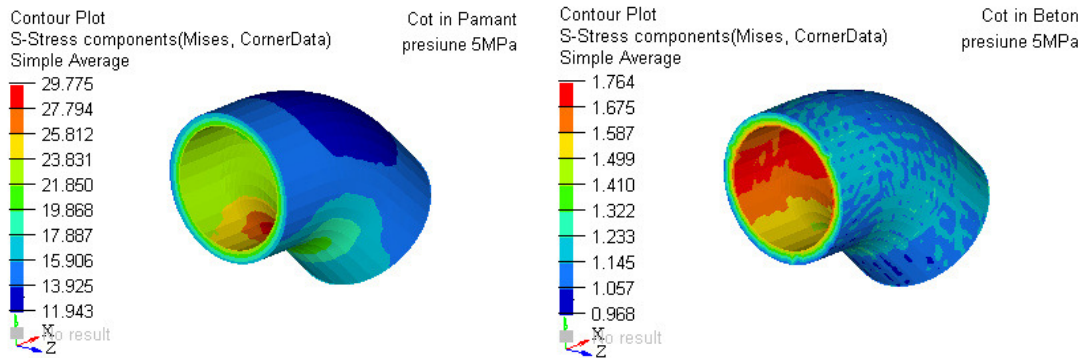
b) presiunea de calcul 5 MPa

Figura 5.25 *Deplasări rezultante în secțiune, în mm*



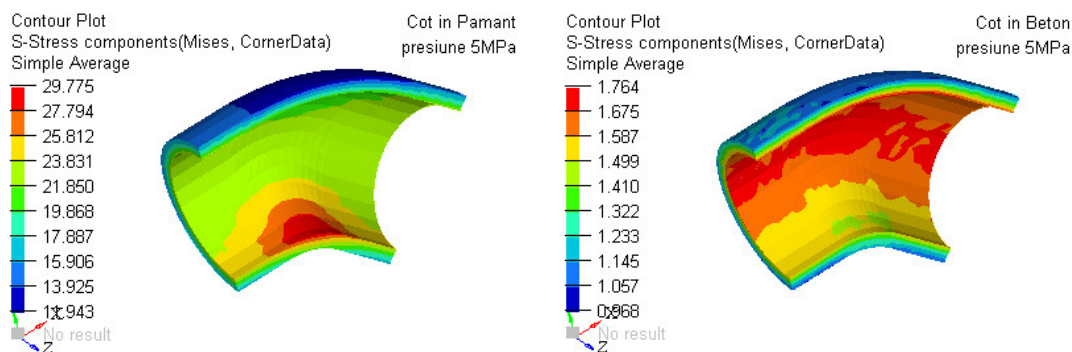
b) presiunea de calcul 5 MPa

Figura 5.26 *Presiunea de contact pe suprafața cotului, în MPa*



b) presiunea de calcul 5 MPa

Figura 5.27 *Tensiuni von Mises în cot, în MPa*



b) presiunea de calcul 5 MPa

Figura 5.27.a *Tensiuni von Mises în secțiunea cotului, în MPa*

În Fig. 5.28 se prezintă modelul structural MEF al cotului îngropat în pământ.

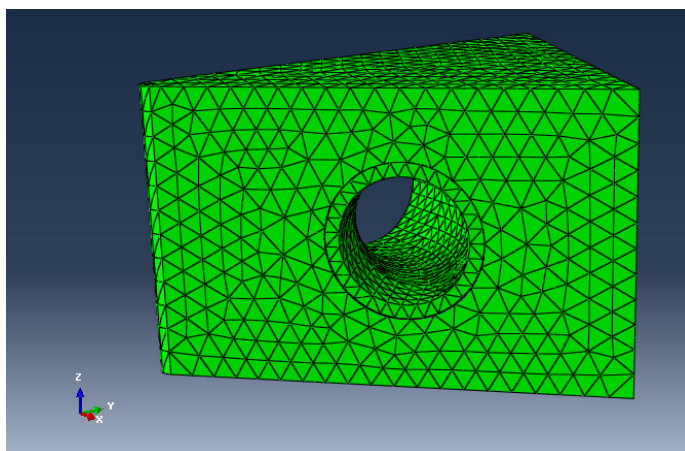


Figura 5.28 *Modelul structural discretizat al cotului îngropat în pământ*

La realizarea modelului discretizat al cotului îngropat în pământ s-au folosit următoarele numere și tipuri de elemente: Număr elemente cot (tetraedrice) = 4933; Număr elemente pământ (tetraedrice) = 14022. La realizarea modelului discretizat al cotului ancorat în masivul de beton au fost utilizate următoarele numere și tipuri de elemente: Număr elemente cot (tetraedrice) = 4933; Număr elemente beton (tetraedrice) = 17545.

## 5.7. Deteriorarea tuburilor HDPE [92], [26]

Cedarea tuburilor îngropate, fabricate din polietilenă de înaltă densitate HDPE, se poate produce din cauza mai multor factori, care pot fi grupați astfel:

- Condiții interne (presiune ridicată, presiune fluctuantă, temperatură mediu-transportat);
- Instalare - pozare tub (proiectare deficitară, erori de pozare, erori manipulare material);
- Material deteriorat (defecte inițiale, alegere incorectă a materialului tubului, zdrobiri anterioare);

- Forțe geotermice (mişcări ale scoarței, forțe seismice, flotație);
- Sarcini externe (sarcini date de construcții, trafic greu, explozii).

În practică, deteriorarea tuburilor HDPE se produce prin rupere ductilă (fig. 5.29) sau prin rupere casantă (fig. 5.30), din cauza microfisurării [67].



Figura 5.29. *Rupere ductilă*



Figura 5.30 *Rupere casantă*

O rupere casantă, la conducta de apă care leagă municipiul Codlea de Ghimbav și care a avut loc în anul 2014, este prezentată în figurile 5.31, 5.32 și 5.33.



Figura 5.31 *Rupere casantă*

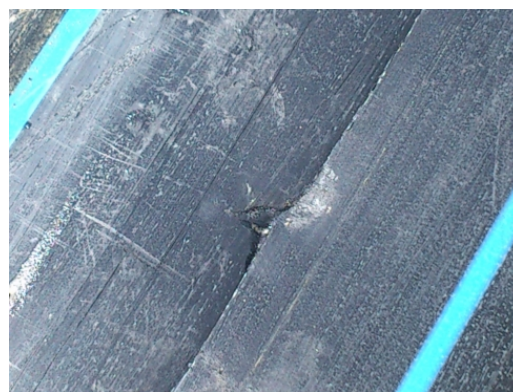


Figura 5.32 *Țeavă cu o rupere casantă*    Figura 5.33 *Detaliul ruperii casante a unei țevi de apă*

Pentru polietilena de înaltă densitate HDPE, ruperea ductilă se produce cu deformare plastică iar ruperea casantă se produce cu puțină sau fără deformare plastică. Rupurile casante sunt astfel grave, pentru că se produc fără atenționare [26], [27].

#### 5.8. Analiza cu MEF a tubului HDPE-DN 315 presurizat

Modelul necesar analizei are ca date de intrare:

- presiunea în interiorul tubului, luată ca presiune de referință perpendiculară pe peretele interior al tubului;
- încastrări, capetele tubului, astfel încât, toate gradele de libertate sunt anulate.

Datele privind tubul, geometria și materialul acestuia, sunt prezentate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

Dout	3,15000E+02	mm
Thk	2,86000E+01	mm
Din	2,57800E+02	mm
Dens_tub	9,70000E-10	g/cm <sup>3</sup>
E_tub	1,30000E+03	MPa
nu_tub	3,30000E-01	N/A

Modelul geometric obținut este prezentat în figura 5.39.

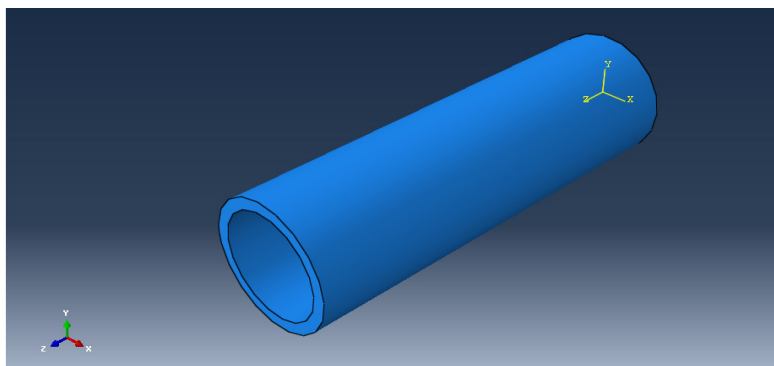


Figura 5.39 Modelul geometric al tubului DN 315

Presiunea interioară din tub generează încărcări radiale și tensiuni circumferențiale, așa cum se prezintă în figura 5.40.

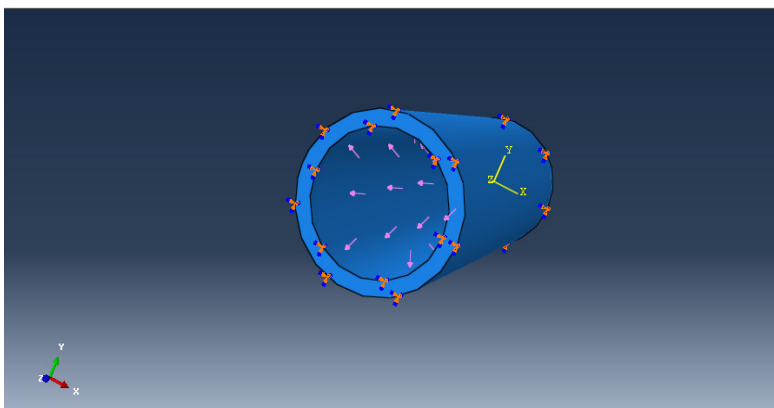


Figura 5.40 Modelul geometric al tubului DN315, rezemat, supus la presiune interioară  
Pentru efectuarea analizei numerice cu MEF, folosind ABAQUS, se crează modelul de analiză discretizat al tubului, prezentat în figura 5.41.

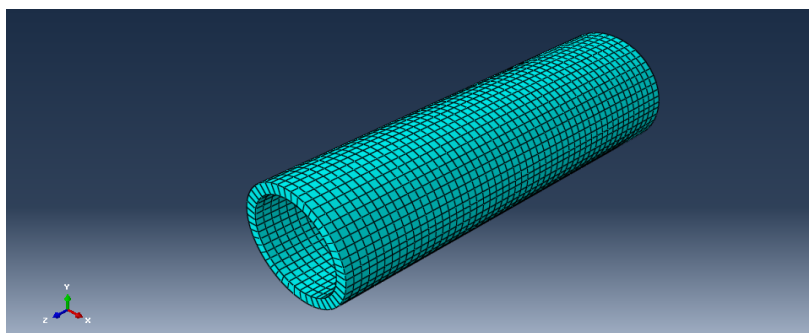


Figura 5.41 Modelul de analiză discretizat al tubului DN 315

Discretizarea a fost efectuată folosind elemente paralelipipedice de tip C3D8R. Au fost generate 2300 elemente pentru modelul obținut.

#### 5.9. Rezultatele analizei tubului DN 315

Rezultatele analizei numerice folosind MEF se prezintă în figurile 5.42 - 5.49:

##### 1. Tensiuni echivalente (von Mises) în tubul DN 315, în MPa

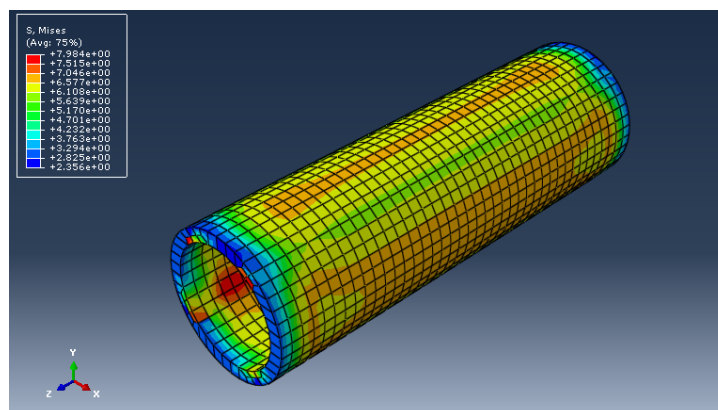


Figura 5.42 Câmpul tensiunilor în tubul DN 315

##### 2. Tensiuni datorate presiunii interioare în tubul DN 315, în MPa

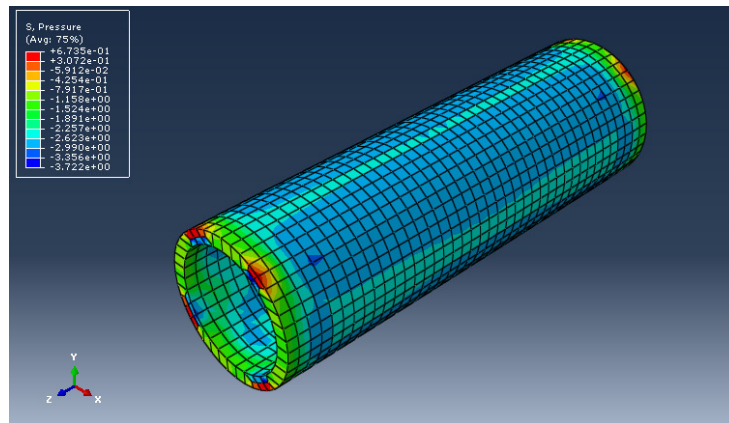


Figura 5.43 Câmpul tensiunilor datorate presiunii interioare în tubul DN315

7. Deplasări, în mm

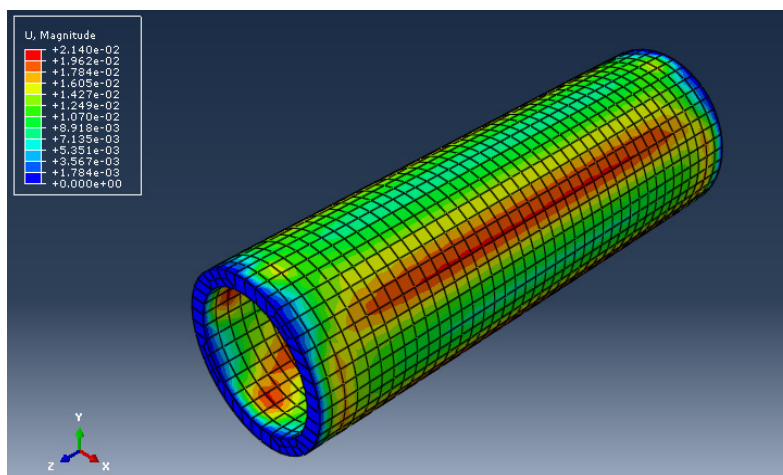


Figura 5.48 Distribuția deplasărilor totale

8. Tensiuni circumferențiale, în MPa

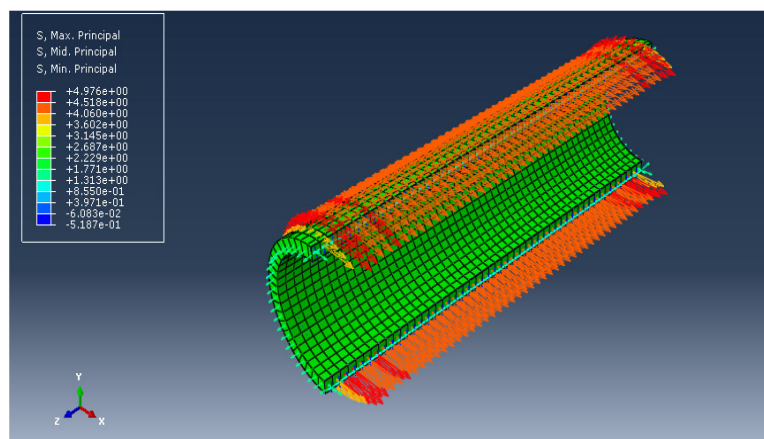


Figura 5.49 Distribuțiile tensiunilor circumferențiale principale

## 5.10. Simularea ruperii tubului DN 315

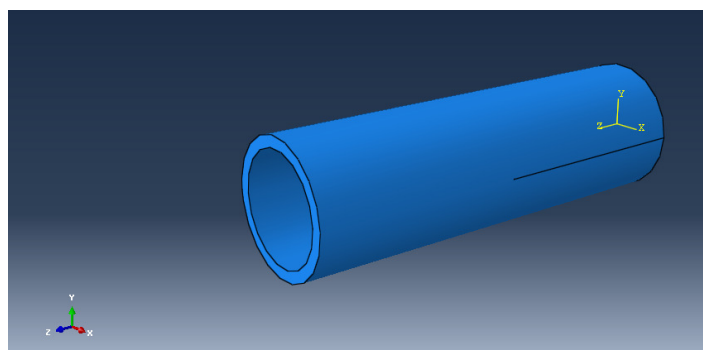
În analiza numerică a crăpăturii se folosește Abaqus/CAE 6.14-5 cu XFEM. Simularea este realizată pentru tuburi de distribuție DN90 și pentru artere DN315. Modelul geometric de tub, necesar analizei numerice cu MEF, va fi creat folosind un corp solid extrudat. Materialul ales al tubului este HDPE.

Pașii urmați în analiză sunt:

- Creare solid;
- Creare fâșie crăpătură;
- Creare secțiune și setare proprietăți material;
- Creare pas suplimentar pentru protragarea crăpăturii;
- Creare interacțiune de tip crăpătură;
- Creare ansamblu unitar din solid și fâșie crăpătură;
- Creare încastrări;
- Creare încărcare pe suprafața interioară;
- Discretizarea modelului;
- Alegere parametri de calcul de ieșire;
- Executarea simulării cu obținerea rezultatelor.

În analiza tuburilor se urmăresc doar tensiunile și deformațiile cauzate de presiunea interioară la care acestea sunt supuse în cadrul rețelei de distribuție a apei.

Modelul geometric necesar analizei numerice este prezentat în figura 5.50.



**Figura 5.50** Modelul geometric pentru simularea ruperii în tubul DN 315

Pe modelul creat în figura 5.50 se pot distinge încastrările impuse modelului, precum și fâșia crăpăturii.

Modelul de analiză discretizat este prezentat în figura 5.51.

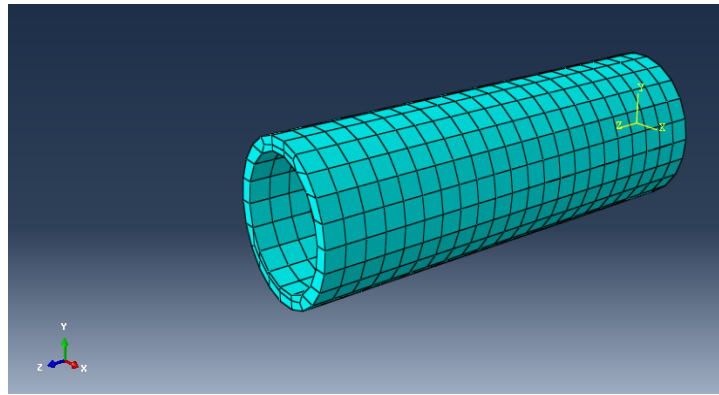


Figura 5.51 Modelul de analiză discretizat al tubului DN315

Modelul care are creată interacțiunea de tip crăpătură, precum și fâșia crăpăturii este prezentat în figura 5.52.

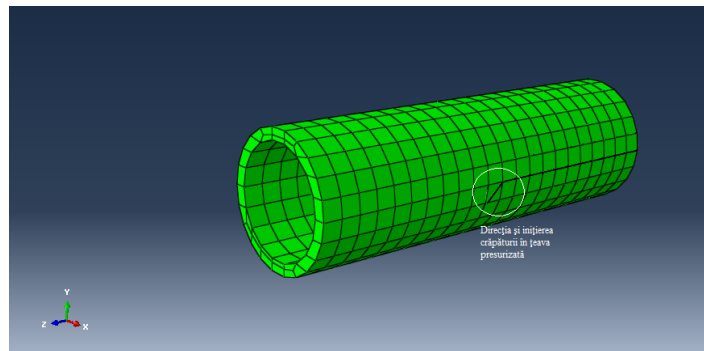


Figura 5.52 Modelul de analiză al crăpăturii tubului DN 315

Este posibilă acum prezentarea modelului rupt din figura 5.53. Ruperea este ductilă și seamănă cu "ciocul de papagal" descris în [116].

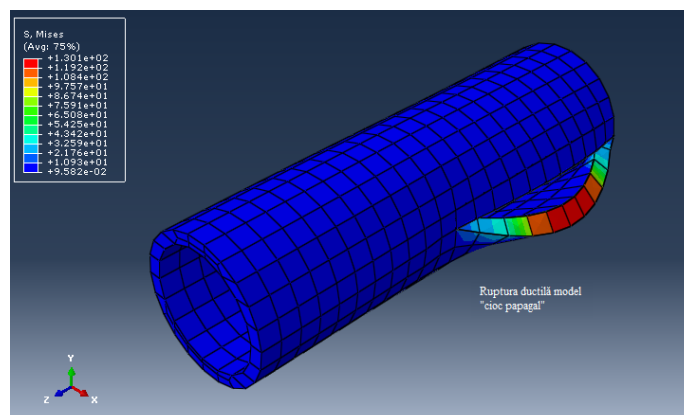


Figura 5.53 Modelul rupt al tubului DN 315

Concluzii:

Tensiunea la care s-a produs ruperea: 130 MPa >>> rezistența admisibilă a polietilenei.



Nodul modelului care conține un gol care favorizează inițierea crăpăturii precum și funcția care face posibilă reprezentarea modelului crăpat sunt prezentate în figura 5.54.

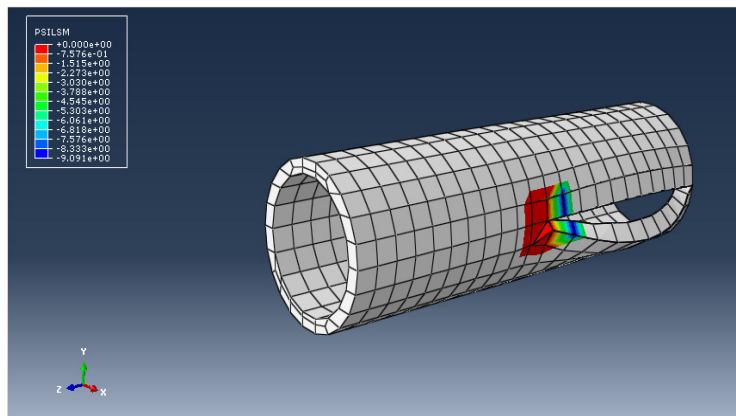


Figura 5.54 Funcția de distanță și inițierea crăpăturii tubului DN315

Deplasările nodurilor tubului la crăpătură sunt prezentate în figura 5.55, în mm.

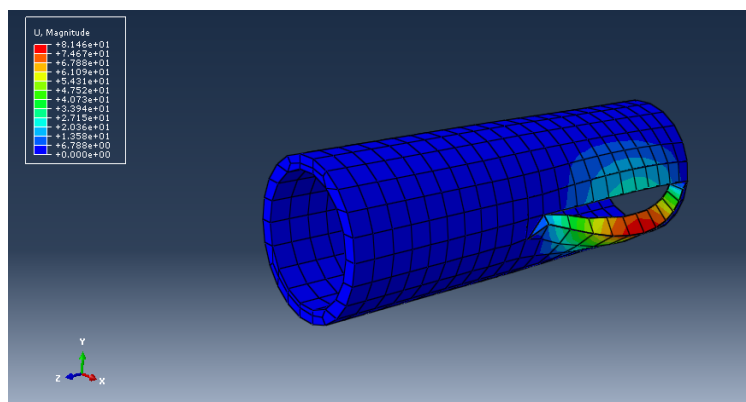


Figura 5.55 Deplasările nodurilor la crăpătură pentru tubul DN315

### 5.11. Simularea ruperii tubului DN 90

Pașii analizei sunt identici cu cei descriși în subcapitolul 5.10. Modelul geometric creat, care conține și fâșia crăpăturii, este prezentat în figura 5.56.

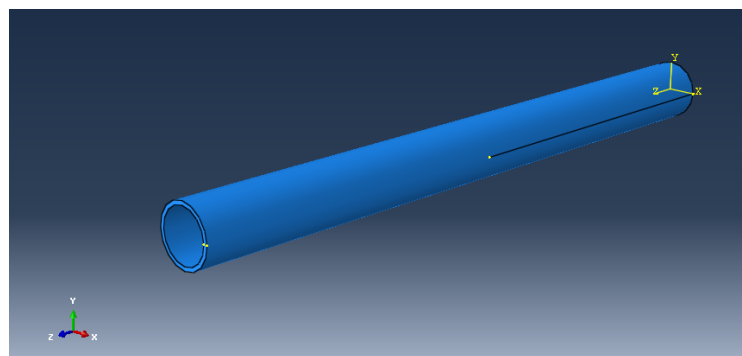


Figura 5.56 Modelul geometric încastrat al tubului DN90, cu traiectoria crăpăturii

Modelul de analiză discretizat, cu interacțiunea creată, de tip crăpătură, se prezintă în figura 5.57.

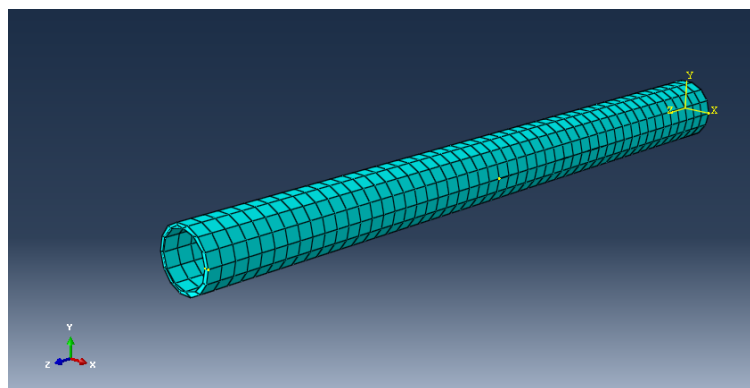


Figura 5.57 Modelul de analiză discretizat al tubului DN90

Modelul de analiză al crăpăturii se prezintă în figura 5.58.

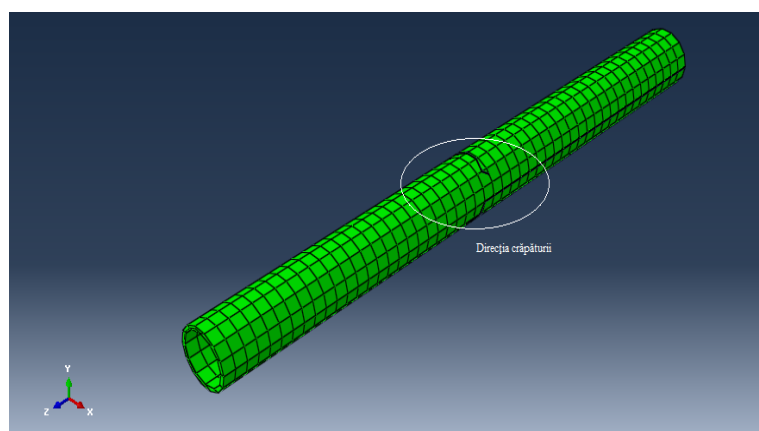


Figura 5.58 Modelul de analiză al crăpăturii tubului DN 90

## 5.12. Rezultatele analizei DN 90

Prezentarea modelului rupt se produce așa cum se vede în figura 5.59. Ruperea este ductilă și seamănă cu "ciocul de papagal" descris în [116].

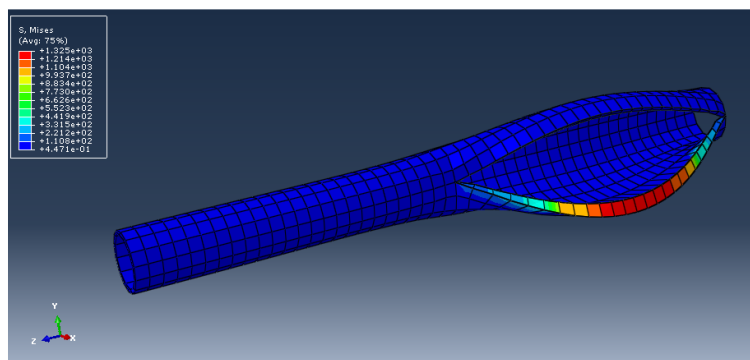


Figura 5.59 Modelul rupt al tubului DN 90

## 5.13. Concluzii

Din analiza rezultatelor obținute în Capitolului 5 se desprind următoarele concluzii:

- starea de tensiune și de deformare din ansamblul cot din polietilenă - masiv din beton a fost prezentată în figurile 5.6 și 5.7;
- tensiunea maximă în masivul din beton (fig.5.8) a fost:  
$$\sigma_{\max} = 2,035MPa < \sigma_{adm,beton} = 20MPa$$
, astfel încât, masivul din beton nu se va distruge din cauza încărcării existente;
- forța rezultantă maximă în încastrarea exterioară a masivului din beton (fig. 5.9) a fost  $R = 603,5 N$ ;
- presiunea maximă pe suprafața de contact cot - masiv a fost  $2,943MPa$  (fig. 5.13);
- tensiunea maximă în cot a fost  $\sigma_{\max,cot} = 3,643MPa < \sigma_{adm,HDPE} = 21,9MPa$ , astfel încât, cotul nu se va distruge din cauza solicitărilor existente;
- deformarea plastică în cot (fig. 5.16), la întindere, max  $0,228\% \ll 840\%$  care este alungirea specifică la rupere a HDPE;
- modelul geometric al cotului DN 315 nesprijinit în masiv a fost prezentat în figura 5.17;
- modelul crăpat al cotului DN 315 presurizat, cu evidențierea tensiunii care a inițiat crăpătura, a fost prezentat în figura 5.20;
- crăpătura cotului DN 315, cu ajutorul funcțiilor de distanță asociate,  $\Phi$  și  $\Psi$ , a fost prezentată în figurile 5.20 și 5.21;
- deformarea cotului DN 315 crăpat a fost prezentată în figura 5.22;
- comparația, cot DN 315 îngropat în pământ - cot DN 315 ancorat în masiv din beton, prezentată în figurile 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 și 5.27, cu evidențierea valorilor tensiunii și deformației, în pământ și în beton, justifică ancorarea cotului în masivul din beton;
- tuburile crăpate ductil au fost prezentate în figura 5.29, iar tuburile crăpate casant au fost prezentate în figura 5.30;
- încadrarea crăpăturilor, ductilă și casantă, în teoria Mecanicii Ruperii [92], a fost prezentată în figurile 5.35 și 5.36;
- rezultatele analizei cu MEF a tubului presurizat au fost prezentate în figurile 5.42 - 5.49;
- simularea ruperii cu crăparea tubului DN 315 presurizat a fost prezentată în figura 5. 53;
- modelul de rupere al tubului DN 90 presurizat a fost prezentat în figura 5.58.

# CAPITOLUL 6

## CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE DEZVOLTARE

### 6.1. Concluzii generale

Obiectivul principal al tezei, analiza comportamentului mecanic al unor elemente ale rețelei de alimentare cu apă (țevi, coturi), fabricate din polietilenă de înaltă densitate a fost atins în Capitolul 5.

Tot aici, s-a prezentat o comparație între un cot îngropat în pământ și unul ancorat în masiv din beton, constatându-se avantajele soluției cotului ancorat în beton.

Folosind metoda elementelor finite, au fost determinate tensiunile și deplasările care apar în ansamblul cot - masiv de ancoraj, precum și în țeava presurizată a întregii rețele de alimentare cu apă. Această metodă poate fi aplicată pentru orice poziție cot - masiv sau țeavă presurizată, de orice dimensiune, a întregii rețele de alimentare cu apă.

Obiectivele specifice ale tezei au fost atinse în capitolele 2, 3 și 4.

Rețelele de alimentare cu apă actuale din localitățile urbane presupun cheltuieli mari cu întreținerea, reabilitarea și extinderea, iar pentru construcția de rețele de alimentare noi - în cazul localităților rurale, cheltuielile sunt foarte ridicate.

Atât reabilitarea, extinderea, cât și construcția de rețea nouă de alimentare cu apă sunt realizate în prezent cu tuburi din polietilenă de înaltă densitate, astfel încât, producătorii acestui tip de tuburi au posibilitatea comercializării rapide, la prețuri deloc de neglijat.

Achiziția de către utilizatori a tuburilor se face, în cele mai multe dintre cazuri, doar ca rod al politicii de marketing a producătorului și cu necunoașterea caracteristicilor și performanțelor tuburilor, respectiv cele de păstrare în timp a capacității funcționale, având în vedere faptul că o rețea de alimentare cu apă funcționează neîntrerupt.

Se impune deci, cunoașterea de către utilizator a caracteristicilor de material, a tipului de extruder folosit la fabricarea tuburilor și a catalizatorilor folosiți la fabricarea granulelor.

Pentru aceeași dimensiune de țeavă, dar provenită de la fabricanți diferiți, un utilizator poate face diferența, nu doar pe baza prețului, ci cunoscând caracteristicile de material rezultate în urma încercărilor mecanice.

În cadrul lucrării au fost prezentate informații foarte utile pentru specialiștii care folosesc tuburile din polietilenă.

## 6.2. Contribuții personale

În capitolul 3, contribuțiile personale au fost aduse astfel:

- subcapitolul 3.1 identifică proprietățile principalelor elemente din rețeaua de alimentare cu apă, sursele cu debitele lor, rezervoarele de înmagazinare cu cotele aferente, pentru toate zonele de presiune ale rețelei, cotele rezervoarelor tampon ale stațiilor de pompare; au fost date cotele tuturor elementelor din rețea, întrucât, fiind vorba de o rețea gravitațională, se pot stabili în acest mod presiunile în orice punct al rețelei;
- subcapitolul 3.2 prezintă schema generală de funcționare (schema tehnologică) a rețelei de alimentare cu apă a Municipiului Brașov;
- subcapitolul 3.3 prezintă tipurile de țevi din polietilenă de înaltă densitate folosite în rețelele de alimentare cu apă, respectiv cele mai folosite în rețeaua de distribuție a apei la consumatori;
- subcapitolul 3.4 prezintă calculul analitic clasic al forței de echilibrare a unui cot de 45° al conductei [17], [35], ancorată într-un masiv, necesar calculului numeric cu metoda elementelor finite din capitolul 5, al cotului în masivul de ancoraj. Forța hidrodinamică rezultantă în cot se poate calcula și cu relațiile din [5];
- subcapitolul 3.5 identifică o formă de ruptură ductilă, denumită în literatura de specialitate citată - "cioc de papagal" [116], (fig. 3.11).

Contribuțiile experimentale au fost aduse în capitolul 4, în care s-au prezentat încercările de material ale tuburilor și epruvetelor decupate din ele, precum și principalele caracteristici mecanice și elastice ale tuburilor, utile beneficiarilor de tuburi dar și analizei numerice cu MEF.

Toate rezultatele au fost sistematizate pe tipul de încercare și au fost conforme cu cele din standarde și din literatura de specialitate.

Contribuții la cercetarea cu metoda elementelor finite a cotelui fabricat din polietilenă de înaltă densitate ancorat într-un masiv din beton, precum și a țevilor de distribuție presurizate, fabricate tot din polietilenă de înaltă densitate, au fost prezentate în capitolul 5, unde, s-au alcătuit modele cot - masiv și țevi presurizate, fiind astfel posibilă obținerea rezultatelor prezentate.

Capitolele 3, 4 și 5, aduc astfel, contribuțiile originale teoretice și experimentale la cercetarea tuburilor din materiale plastice noi și a rețelelor de alimentare cu apă.

### 6.3 . Direcții de dezvoltare

Având în vedere principalele probleme ale utilizatorilor de tuburi, fabricate din polietilenă de înaltă densitate, se impun următoarele direcții de cercetări viitoare:

- propunerea de sisteme de asigurare și de control al calității la recepția tuburilor, care vor corespunde din toate punctele de vedere condițiilor din standardele de referință;
- elaborarea de proceduri de control de calitate al firmelor care administrează rețelele de apă, cu dreptul acestor firme de a controla sau încerca produsele pe care le achiziționează în timpul oricărei etape de fabricație a acestora, care poate afecta calitatea produselor și, de asemenea, prevederea posibilității de încercare a materiilor prime folosite la fabricarea țevii sau fittingului;
- elaborarea de tehnici de stocare a tuturor informațiilor care atestă calitatea produsului livrat de un anumit furnizor și posibilitatea analizei comparative preț/calitate, dar și cunoașterea caracteristicilor mecanice, pentru produse similare de la diferiți furnizori;
- introducerea în sistemul calității a mențiunii "obligația furnizorului de țevi de plastic de a prezenta diagramele de regresie ale materialului țevii";
- solicitarea unei cerințe exprese a beneficiarului de țevă din plastic - la fabricarea lotului de țevi să fie turnate și epruvete din același material cu cel al țevilor, cunoscut fiind faptul că, pentru încercările mecanice, epruvetele trebuie să aibă o anumită formă ("os de câine") [116];
- cunoașterea, de către utilizatorul țevii, a tipului de extruder folosit la fabricarea acestora, pentru a se afla structura peretelui țevii, care-i va conferi acesteia proprietățile mecanice și elastice necesare;
- alcătuirea hărții digitale a rețelei și studiul inelelor cu soft-uri specializate (EPANET, WATERCAD)
- alcătuirea profilului tehnologic al rețelei de distribuție.

Pentru îmbogățirea cunoașterii, legată de materialele plastice noi, folosite la fabricarea tuburilor care alcătuiesc o rețea de alimentare cu apă, se impune și traducerea în limba română a unor cărți de specialitate, cum ar fi [92], pentru buna cunoaștere a mecanicii ruperii polimerilor.

#### 6.4 . Diseminarea rezultatelor. Lista lucrărilor publicate

Cercetările legate de tubul integrat într-o rețea de alimentare cu apă, prezintă o mare importanță practică, putând oferi soluții pentru utilizatorii de rețele, atât la achiziția tuburilor, cât și la extinderi, reabilitări, construcții noi de rețele de alimentare cu apă.

Rezultatele cercetărilor au fost diseminate prin publicarea unor articole, în reviste de specialitate sau în volumele unor conferințe, după cum urmează:

- **trei lucrări în reviste ISI - Web of Science;**
- **cinci lucrări în volumele unor conferințe cu proceedings-uri ISI.**

La acestea se adaugă prezentarea unor lucrări în cadrul unor conferințe internaționale. În acest sens, au fost prezentate și publicate cinci lucrări, aflate în BDI.

##### Articole publicate în reviste de specialitate cotate ISI - Web of Science

1. Vlase, S., Scărlătescu, D. D., Marin, M., Öchsner, A., *Finite Element Analysis of an Elbow Tube in Concrete Anchor Used in Water Supply Networks*, Journal of Materials: Design and Applications, 2019 (IF 1.568).
2. Scărlătescu, D.D., Vlase, S., Crișan, A., et al., *Traction Test to Determine the Behaviour of the Materials Used in Water Supply Networks*, Acta Technica Napocensis, Series-Applied Mathematics, Mechanics and Engineering, Vol. 62, Issue 1, pp. 175-182, 2019.
3. Vlase, S., Scărlătescu, D.D., Scutaru, M.L., *Stress Field in Tubes Made of High Density Polyethylene Used in Water Supply Systems*, Acta Technica Napocensis, Series-Applied Mathematics, Mechanics and Engineering, Vol. 62(2), 2019.

##### Lucrări publicate la conferințe cu volume indexate ISI - Web of Science

4. Scutaru, M. L., Mihalica, M., Modrea, A., Scărlătescu D. D., *An advanced high rigidity thin sandwich composite laminate with COREMAT and dissimilar skins*, Conference: 11<sup>th</sup> International Conference on Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG), Location: Târgu Mureș, Romania, Date: OCT 05-06, 2017, Procedia Manufacturing, Vol. 22, pp. 35-40, 2018.
5. Teodorescu-Drăghicescu, H., Scărlătescu, D.D., Vlase, S. et al., *Advanced high-density polyethylene used in pipelines networks*, Conference: 11<sup>th</sup> International Conference on Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG), Location: Târgu Mureș, România, Date: OCT 05-06, 2017, Procedia Manufacturing, Vol. 22, pp. 27-34, 2018.
6. Scărlătescu, D.D., Modrea, A., Stanciu, M.D., *Three-point Bend Test to Determine the Mechanical Behavior of the Tubes Used in Water Supply Networks*, Procedia Manufacturing, 32, pp. 179-186, 2019.
7. Modrea, A., Scărlătescu, D.D., Gligor, A., *Mechanical Behavior of the HDPE Tubes Used in Water Supply Networks Determined with the Four-Point Bending Test*, Procedia Manufacturing, 32, pp. 194-200, 2019.
8. Modrea, A., Hebert, H., Scărlătescu, D.D., *FEM Applied to Determine the Stress-strain Field in the Tubes of the Water Supply Networks*, Procedia Manufacturing, 32, pp. 187-193, 2019.

9. Scărlătescu, D.D., Goia, I., Teodorescu-Drăghicescu, H., *Stiffness Experimental Analysis of High Density Polyethylene Tubes*, The 3<sup>rd</sup> International Conference Advanced Composite Materials Engineering COMAT 2010, 27-29 October 2010, Transilvania University of Braşov, România, Vol. 2, Eds. D. Bigoni, S. Vlase, A. Chiru, ISSN: 1844-9336, pp. 227-230.
10. Teodorescu-Drăghicescu, H., Vlase, S., Goia, I., Teodorescu, F., Scărlătescu, D.D., *Compliances and Stiffness Matrices of a Glass Fibre - Reinforced Composite Lamina Subjected To Biaxial Loadings*, The 4<sup>th</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering COMEC 2011, 20-22 october 2011, Braşov, România, pp. 477-480.
11. Scărlătescu, D.D., Goia, I., Teodorescu-Drăghicescu, H., *Încercări la tracţiune şi încovoiere pe țevi de polietilenă de înaltă densitate*, The 3<sup>rd</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering" COMEC 2009, vol. I, pp. 278-282.
12. Scărlătescu D.D., Goia, I., Tofan, M., Teodorescu Drăghicescu, H, *A Mathcad Study of Consumers Disposition in Water Supply Networks*, The 4<sup>th</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2011, 20-22 Oct. 2011, Braşov, România, pp. 577-580.
13. Scărlătescu, D.D., Goia I., Tofan M., Teodorescu-Drăghicescu, H., *A Mathcad Study of the Hydraulic Resistance in Polyethylene Pipelines*, The 4<sup>th</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2011, 20-22 Oct. 2011, Braşov, România, pp. 581-585.

Alte publicații:

14. Scărlătescu, D.D., *Tensiuni reziduale în tuburi de polietilenă și în găurile de prindere ale componentelor aeronautice*, Buletinul AGIR nr.4/2007 octombrie-decembrie

## BIBLIOGRAFIE (extras)

- [5] Alessandrescu, A., *Ingineria mecanică a sistemelor de conducte*, Editura AGIR, Bucureşti, 2013.
- [7] Antonina Vallentin, *Leonardo da Vinci*, Editura Meridiane, 1968.
- [9] Armstrong, K., *History of Jerusalem. One City, Three Faiths*, Harper Collins Book, 2014.
- [12] Bathe, K. J., *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1982.
- [14] Blumenfeld, M., *Introducere în metoda elementelor finite*, Editura tehnică, Bucureşti, 1995.
- [17] Botiş, M., *Metoda elementelor finite*, Editura Universităţii Transilvania, Braşov 2005.
- [18] Brebbia, C. A., Connor, J. J., *Fundamentals of Finite Element Techniques*, Butterworths, London, 1973.
- [22] Caracostea, A. D. ş.a, *Manual pentru calculul construcţiilor*, Editura Tehnică, Bucureşti 1977.
- [25] Ciofoaia, V., Botiş, M., Dogaru, Fl., Curtu, I., *Metoda elementelor finite*, Editura Infomarket, 2001.
- [26] Citarella, R., Lepore, M., Maligno, A., Shlyannikov, V., *Fracture and Structural Integrity*, 31 (2015) 138-147.
- [27] Colangelo, V. J., Heiser, F. A., *Analysis of Metallurgical Failures*, (2<sup>nd</sup> ed.) John Wiley and Sons, Inc. 1987.

- [28] Constantinescu, I. N., Gheorghiu, H., Hadăr, A., Stoicescu, C., *Méthode des éléments finis. Cours et applications*, Lytographie de l'Université "Politehnica" de Bucarest, 1993.
- [29] Cuteanu, E., Marinov, R., *Metoda elementelor finite în proiectarea structurilor*, Editura Facla, Timișoara, 1980.
- [30] von Däniken, E., *Amintiri despre viitor*, Editura Politică București, 1970.
- [31] Drimba, O., *Istoria Culturii și Civilizației - vol. 1*, Editura Științifică și Enciclopedică. București, 1985.
- [32] Dumitrescu, D., ș.a., *Manualul inginerului hidrotehnician*, Editura Tehnică, București, 1969.
- [33] Dumitrescu, I., Marșavina, L., *Introducere în mecanica ruperii*, Editura Mirton, Timișoara, 2001.
- [35] Florea, J., Seteanu, I., Zidaru, Gh., Pancutescu, V., *Mecanica fluidelor și mașini hidropneumatice*, Editura Didactică și Pedagogică București, 1982.
- [36] Goia, I., *Mechanics of Materials*, Derc Publishing House Tewksbury, Massachusetts, USA., 2009.
- [37] Goia, I., *Rezistența materialelor, Vol. II*, Universitatea din Brașov, 1981.
- [38] Hartog, J. P., *Advanced Strenght of Materials*, Dover Pubications 1987.
- [40] Hadăr, A., Marin, C., Petre, C., Voicu, A., *Metode numerice în inginerie*, Editura Politehnica Press, București, 2005
- [41] Hadăr, A., Constantinescu, I. N., Gheorghiu, H., Coteț, C. E., *Modelare și modele pentru calcule în ingineria mecanică*, Editura Printech, București, 2007.
- [42] Hadăr, A., *Structuri din compozite stratificate: metode, algoritmi și programe de calcul*, Ed. Academiei, 2002.
- [45] Hughes, T. J. R., *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987, 2000.
- [46] Iamandi, C., Petrescu, V., Sandu, L., Damian, R., Anton, A., Degeratu, M., *Hidraulica instalațiilor. Elemente de calcul și aplicații*, Editura Tehnică, București, 1985.
- [47] Iamandi, C., Petrescu, V., *Mecanica fluidelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1987.
- [52] Marin, C., Hadăr, A., Popa, Fl., Albu, L., *Modelarea cu elemente finite a structurilor mecanice*. Editura Academiei și Editura AGIR, București, 2002
- [53] Mateescu, C., *Hidraulica*, Editura de Stat Didactică și Pedagogică București, 1961.
- [54] Mateescu, Th. ș.a., *Conducte din mase plastice pentru sisteme de utilități urbane*. S.C. REVOX Bistrița.
- [61] Pascariu, I., *Elemente finite - Concepte, aplicații*, Editura militară, București, 1985
- [63] Posea, N., Anghel, A., Grigore, N., Mincu, V., *Statica și dinamica sistemelor de conducte*, Editura Academiei Române, București, 1996.
- [66] Rao, S. S., *The Finite Element Method in Engineering*, Pergamon Press, Oxford, 1982.
- [67] Rueda, F., Marquez, A., Otegni, J. L., Frontini, P. M., *Buckling collapse of HDPE liners. Experimental set-up and FEM simulations*. Thin-Walled Structures, Vol. 109, dec. 2016, pp. 103-112.
- [68] Scărlătescu, D.D., Vlase, S., Crisan, A., et al., *Traction Test to Determine the Behaviour of the Materials Used in Water Supply Networks*, Acta Technica Napocensis, Series - Applied Mathematics, Mechanics and Engineering, Vol. 62, Issue 1, pp. 175-182, 2019.
- [68b]. Scărlătescu, D. D., Modrea, A., Stanciu, M. D., *Three-point Bend Test to Determine the Mechanical Behavior of the Tubes Used in Water Supply Networks*. Procedia Manufacturing, 32, pp. 179-186, 2019.
- [69] Scărlătescu, D.D., Goia, I., Teodorescu-Drăghicescu, H., *Stiffness Experimental Analysis of High Density Polyethylene Tubes*, The 3<sup>rd</sup> International Conference Advanced Composite Materials Engineering COMAT 2010, 27-29 October 2010, Transilvania University of Brașov, România, Vol. 2, Eds. D. Bigoni, S. Vlase, A. Chiru, ISSN: 1844-9336, p. 227-230.



- [70] Scărlătescu, D.D., Goia, I., Teodorescu-Drăghicescu, H., *Încercări la tracțiune și încovoiere pe țevi de polietilenă de înaltă densitate*, The 3<sup>rd</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2009, Brașov, România, vol. I, pp. 278-282.
- [71] Scărlătescu D.D., I.Goia, M. Tofan, H. Teodorescu Drăghicescu, *A Mathcad Study of Consumers Disposition in Water Supply Networks*. The 4<sup>th</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2011, 20-22 Oct. 2011, Brașov, România, pp. 577-580.
- [72] Scărlătescu, D.D., Goia I., Tofan M., Teodorescu Drăghicescu H., *A Mathcad Study of the Hydraulic Resistance in Polyethylene Pipelines*. The 4<sup>th</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC, 2011, 20-22 Oct. 2011, Brașov, România, pp. 581-585.
- [73] Scărlătescu, D.D., *Tensiuni reziduale în tuburi de polietilenă și în găurile de prindere ale componentelor aeronautice*, Buletinul AGIR nr.4/2007 octombrie - decembrie.
- [75] Scutaru, M. L., Mihalca, M., Modrea, A., Scărlătescu, D.D., *An advanced high rigidity thin sandwich composite laminate with COREMAT and dissimilar skins*, Procedia Manufacturing, Vol. 22, pp. 35-40, 2018.
- [76] Sorohan, Șt., *Metoda elementelor finite în ingineria mecanică. Programe și aplicații*, vol.1, U. P. B., 1996.
- [77] Sorohan, Șt., Constantinescu, I. N., *Practica modelării și analizei cu elemente finite*, Editura Politehnica Press, București, 2003.
- [80] Teodorescu-Drăghicescu, H., Vlase, S., Goia, I., Teodorescu, F., Scărlătescu, D.D., *Compliances and Stiffness Matrices of a Glass Fibre - Reinforced Composite Lamina Subjected To Biaxial Loadings*, The 4<sup>th</sup> International Conference on "Computational Mechanics and Virtual Engineering", COMEC 2011, 20-22 Oct. 2011, Brașov, România, pp. 477-480.
- [81] Teodorescu-Drăghicescu, H., Scărlătescu, D. D., Vlase, S. et al., *Advanced high- density polyethylene used in pipelines networks*, Conference: 11<sup>th</sup> International Conference on Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG), Location: Târgu Mures, România, Date: OCT 05-06, 2017, Procedia Manufacturing, Vol. 22, pp. 27-34, 2018.
- [86] Vlase, S., Scărlătescu, D. D., Scutaru, M.L., *Stress Field in Tubes Made of High Density Polyethylene Used in Water Supply Systems*, Acta Technica Napocensis, Vol. 62(2), 2019.
- [90] Vlase, S., Scărlătescu, D.D., Marin, M., Öchsner, A., *Finite Element Analysis of an Elbow Tube in Concrete Anchor Used in Water Supply Networks*, Journal of Materials: Design and Applications. Journal of Materials: Design and Applications, 2019 (IF 1.568).
- [91] Zienkiewicz, O. C. And Taylor, R. L., *The Finite Element Method*, 4<sup>th</sup> ed, McGraw - Hill, London, vol. 1, 1988, vol. 2, 1993.
- [92] Williams, J. G., *Fracture Mechanics of Polymers*, Elis Horwood Limited, 1984.
- [94] \*\*\*UPONOR, *Descriere tehnică pentru țevi din polietilenă rigidă*, Manualul utilizatorului.
- [95] \*\*\*Lloyd Instruments LS100 Plus, *User Manual*.
- [96] \*\*\*Lloyd Instruments LR5K Plus, *User Manual*.
- [97] \*\*\*Wawin, *Carte tehnică PE. (polietilenă)*.
- [116] www. Polyethylenepipelineinstitute. Com, *User's Manual 2002* (ultima accesare 22.07.2019)
- [119] www. *Abaqus Analysis. User s Manual*(ultima accesare 22.07.2019)
- [120] www.engineering tool box.com / water\_dynamic\_kinematic\_viscosity\_d 596.html (ultima accesare 22.07.2019)
- [123] <https://www.youtube.com/watch?v=e7uypr7RUoQ>. (ultima accesare 22.07.2019)
- [124] [https://en.wikipedia.org/wiki/Pont\\_du\\_Gard](https://en.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard) (ultima accesare 22.07.2019)

- [127] <http://www.romanaqueducts.info/webteksten/waterinantity.htm> (Ultima accesare 22.05.2019)
- [129] [https://ro.wikipedia.org/wiki/Lista\\_orășelor\\_din\\_România](https://ro.wikipedia.org/wiki/Lista_orășelor_din_România)(ultima accesare 22.07.2019)
- [130] <http://enciclopediaromaniei.ro/wiki/Sat>(ultima accesare 22.07.2019)
- [131] <https://mythologica.ro/34-de-orase-pierdute> (ultima accesare 22.07.2019)
- [132] <https://apeducte.nabatheeni>(ultima accesare 22.07.2019)

## Anexa 2 Rezumatul tezei de doctorat

Teza de doctorat prezintă:

- *Polietilena de înaltă densitate*, care este un material termoplastic, potrivit pentru fabricarea tuburilor folosite în rețelele de alimentare cu apă.
- *Cele mai importante rezultate obținute în încercări experimentale*, pe epruvete din polietilenă de înaltă densitate, încercări efectuate în Laboratorul de Încercări Materiale, Departamentul Auto și Inginerie Mecanică de înaltă densitate. *Încercările la tracțiune* reprezintă procedeul de bază de obținere a *modulului lui Young*. În încercările la tracțiune, modulul lui Young crește odată cu creșterea diametrului tubului. În încercări au fost determinate proprietăți mecanice, cum ar fi: sarcină / deformare la rupere, tensiune / alungire la rupere.
- *Încercările la compresiune* au determinat, de asemenea, proprietăți mecanice importante ale polietilenei de înaltă densitate.
- *Încercările la încovoiere* au determinat proprietăți mecanice principale, cum ar fi: modulul lui Young la încovoiere, rigiditatea la încovoiere, sarcina / deformarea la sarcină maximă.
- *Încercări ciclice* au fost efectuate ținând cont că, tensiunile produse în epruvete sunt cele care determină ruperea țevelor. Încercarea ciclică simulează cel mai bine comportamentul mecanic al tubului în rețeaua de alimentare cu apă.
- *Calculul numeric* folosind Metoda elementelor finite a fost efectuat pentru țeava presurizată și pentru un cot al țevii de polietilenă ancorat într-un masiv din beton, obținându-se rezultate care dau informații despre tensiuni și deformații în țevile sub presiune ale rețelei de alimentare cu apă.
- *A fost simulată* și ruperea tuburilor și coturilor din HDPE.
- Rezultatele calculului numeric folosind MEF, sunt folosite de utilizatorii de rețele de alimentare cu apă.

### Abstract

The Ph Thesis presents:

- *High density polyethylene*, which is a thermoplastic material, suitable for manufacturing *the tubes* used in water supply networks.
- *The most important results obtained during experimental tests* on high density polyethylene specimens, which have been carried out at the Laboratory for Materials Testing, Department of Automotives and Mechanical Engineering within Transilvania University of Brașov, Romania.
- To determine stiffness of high density polyethylene, *the tensile test* represents the basic static procedure to obtain the Young's modulus. In tensile tests, the Young's modulus increases with the increase of tubes diameter; mechanical properties such: load / extension at break, stress / strain at break, have been determined.
- Also *compression tests* have been used to determine important mechanical properties of high density polyethylene.
- In the *bend tests*, main mechanical properties, such Young's moduli of bending, flexural rigidity, stiffness, load / extension at maximum load have been determined.
- Cyclic tests have been carried out taking account that these are the cause of tubes breaking. Cyclic tests are the most suitable to determine the mechanical behaviour of the water supply networks tubes.
- The Finite Elements Method has been used for pressured pipe and for an elbow of the pipe, sustained in a concrete massive. The most important results have been obtained for stresses and strains of the tubes.
- Also, a simulation of tubes and elbows cracking was made. The results of the MEF are useful for the users of the networks.

## Anexa 3.Curriculum Vitae



### Curriculum vitae

### Europass

### Informații personale

Nume / Prenume Scărlătescu Dumitru Daniel

Adresă(e)

Telefon(oane)

Mobil:

E-mail(uri)

Data nașterii

### Experiența profesională

Perioada 1985-1990, 1990-2003, 2004-prezent

Funcția sau postul ocupat Inginer, Inginer șef atelier scule, Inginer șef atelier Stații pompe

Activități și responsabilități principale Tehnolog secția Scule Speciale, coordonare colectiv Atelier Scule, coordonare colectiv stații pompe

Numele și adresa angajatorului Întreprinderea de Scule Râșnov, S.C.Roman S.A, S.C.Compania Apa Brașov.S.A

Tipul activ.sau sectorul de activ. Producție industrială, Producție sculărie, Activități productive sector utilități

### Educație și formare

Perioada/Calificarea / diploma 1980-1985, Inginer mecanic

Numele și tipul instituției de învățământ Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Tehnologia Construcțiilor de Mașini-  
Diploma de absolvire

## Aptitudini și competențe

### personale

- spiritul de echipă
  - o bună capacitate de comunicare, obținută ca urmare a experienței de șef de atelier
  - leadership (în prezent responsabilul unui colectiv de 25 de oameni)
  - spirit organizatoric
- Cunoștințe elementare privind unele instrumente Microsoft Office,
- Mathcad folosit pentru studiile doctorale între 2006-2011
- Cunoștințe elementare privind Simulia Abaqus (versiunea 6.14) 2015-2019

### Permis(e) de conducere

Categoria B, C, E

## Anexa 3.Curriculum Vitae



### Curriculum vitae

### Europass

#### Personal informations

First name(s) / Surname(s) Scărlătescu Dumitru Daniel

Address(es)e

Telephone(s) Mobil: 0

E-mail(s)

Date of birth

#### Professional experience

Dates 1985-1990, 1990-2003, 2004-to present

Occupation or position held Engineer, Chief engineer

Main activities and responsibilities Management and coordination of the section Special Tooles.

Name and address of employer Întreprinderea de Scule Râşnov, S.C.Roman S.A, S.C.Compania Apa Braşov.S.A

Type of business or sector Mechanical engineering

#### Education and training

Dates/Principal subjects/occupational skills covered 1980-1985, Mechanical engineer

Name and type of organisation affiliated TRANSILVANIA University of Braşov, Faculty of Techological Engineering and Industrial Management

**Technical skills and****competences**

- team spirit

- good communication skills, obtained as a result of the experience as manager

- leadership (currently responsible for a group of 25 people)

- organizational skills

Basic knowledge of some Microsoft Office tools,

Mathcad used for doctoral studies between 2006-2011

Basic knowledge of Simulia Abaqus (version 6.14) 2015-2019

**Driver license**

Categoria B, C, E