

INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții privind operarea inteligentă a rețelelor de distribuție a gazelor naturale

Autor: Ing. Doru Bogdan STOICA

Conducător științific: Prof. univ. habil. dr. ing. Mihai Adrian ALBULESCU

Ploiești 2023

INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții privind operarea inteligentă a rețelelor de distribuție a gazelor naturale

Contributions regarding smart operation of natural gas distribution networks

Autor: Ing. Doru Bogdan STOICA

Conducător științific: Prof. univ. habil. dr. ing. Mihai Adrian ALBULESCU

Nr. Decizie 313 din 25.05.2023

Comisia de doctorat:

Președinte	Prof. univ. dr. ing. Lazăr AVRAM	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof.univ. habil. dr. ing. Mihai Adrian ALBULESCU	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof. univ. habil. dr. ing. Roland Iosif MORARU	de la	Universitatea din Petroșani
Referent oficial	Prof. univ. habil. dr. ing. Maria LAZĂR	de la	Universitatea din Petroșani
Referent oficial	Prof. univ. habil. dr. ing. Timur-Vasile CHIȘ	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești 2023

Cuprins

Cuprins	3
Introducere	5
Capitolul 1 Stadiul actual al cercetărilor în domeniul rețelelor de distribuție a gazelor naturale	8
1.1. Piața de gaze	8
1.2. Distribuția gazelor naturale în România.....	14
1.2.1. Generalități privind distribuția gazelor naturale în România	14
1.2.2. Nominalizare și alocare.....	17
1.2.3. Profiluri de consum	20
1.2.4. Consumurile tehnologice și pierderi de gaze naturale aferente execuției lucrărilor și a avariilor tehnice produse în rețea	21
1.2.5. Echilibrarea rețelei.....	22
1.3. Stadiul actual al operării în procesul de distribuție a gazelor naturale	23
1.3.1. Obiectivele și funcțiile sistemului de conducere specifice rețelelor de distribuție gaze naturale ...	24
1.3.2. Structuri distribuite de conducere specifice rețelelor de distribuție gaze naturale	25
1.3.3. Principii de operare ale rețelelor de distribuție.....	29
1.3.4. Utilizarea sistemului de gestionare și operare a rețelelor de distribuție pentru minimizarea dezechilibrelor și penalizărilor	31
1.3.5. Utilizarea sistemelor SCADA și a simulatoarelor de rețea în distribuția de gaze	31
1.3.6. Echipamente inteligente în sistemele de distribuție a gazelor naturale	32
1.4. Direcții viitoare de cercetare	35
1.5. Concluzii parțiale	36
Capitolul 2 Modelarea procesului de curgere a gazelor naturale prin conducte	37
2.1. Modelarea curgerii staționare a gazelor printr-o conductă.....	37
2.1.1. Modelul Oroveanu-Trifan.....	37
2.1.2. Modelul Osiadacz.....	39
2.1.3. Aplicație pentru modelarea curgerii staționare a gazelor printr-o conductă	42
2.2. Modelarea curgerii nestaționare a gazelor printr-o conductă	45
2.2.1. Model Oroveanu-Trifan	49
2.2.2. Metode numerice de rezolvare a ecuației de curgere nestaționare a gazelor printr-o conductă ...	51
2.2.3. Aplicație pentru modelarea curgerii în regim nestaționar a gazelor printr-o conductă	56
2.3. Calibrarea compoziției gazelor.....	59
2.4. Concluzii parțiale	63
Capitolul 3 Contribuții la modelarea procesului de transport de gaze naturale	64
3.1. Modelarea vanelor / reguletoarelor	64
3.1.1. Elemente pentru reglarea curgerii în rețele de distribuție a gazelor naturale	64
3.1.2. Mărimi termo-hidrodinamice caracteristice vanei	68

3.1.3.	Prezentarea rezultatelor obținute cu modelul de vană propus	70
3.2.	Model de grupare a consumatorilor în rețelele de distribuție a gazelor naturale	78
3.3.	Concluzii parțiale	80
Capitolul 4 Modelarea unei rețele de distribuție a gazelor naturale		81
4.1.	Modelarea curgerii staționare printr-o rețea de gaze.....	81
4.1.1.	Modelarea clasică a curgerii staționare printr-o rețea de gaze	81
4.1.2.	Modelarea curgerii staționare pentru o rețea de gaze prin aplicarea legilor lui Kirchhoff	84
4.1.3.	Aplicații pentru modelarea curgerii staționare a gazelor printr-o rețea de gaze.....	86
4.2.	Modelarea curgerii nestaționare printr-o rețea de gaze	87
4.3.	Stand de distribuție al gazelor naturale.....	89
4.3.1.	Prezentarea standului de distribuție al gazelor naturale	90
4.3.2.	Aparatură de măsură, comandă și control utilizată pe stand	93
4.3.3.	Aplicație pentru monitorizarea consumatorilor	94
4.4.	Studiu experimental cu datele reale și verificarea modelului realizat.....	95
4.5.	Concluzii parțiale	100
Capitolul 5 Operarea inteligentă a unei rețele de distribuție a gazelor naturale		101
5.1.	Prezentarea procesului de operare inteligentă	101
5.1.1.	Operarea rețelelor de distribuție utilizând simulatoare numerice.....	101
5.1.2.	Realizarea profilurilor de consum.....	104
5.1.3.	Algoritmul de echilibrare al rețelei	112
5.2.	Studii de caz pe o rețea reală.....	117
5.2.1.	Prezentarea rețelei de distribuție gaze naturale.....	117
5.2.2.	Simulări privind echilibrarea unei rețele de gaze naturale pentru perioada de iarnă.....	120
5.2.3.	Simulări privind echilibrarea unei rețele de gaze naturale pentru perioada de vară	124
5.2.4.	Studiu de caz privind consumurile orare într-o rețea de distribuție a gazelor naturale.....	126
5.3.	Concluzii parțiale	129
Concluzii generale, contribuții personale și direcții de cercetare viitoare.....		130
Nomenclator		135
Listă de figuri.....		137
Listă de tabele.....		140
Bibliografie		141
Anexe		145
Anexa 1 – Cod sursă aplicație calcul conductă curgere staționară		145
Anexa 2 – Cod sursă aplicație calcul conductă curgere nestaționară		146
Anexa 3 – Cod sursă pentru modelarea curgerii staționare a gazelor printr-o rețea.....		151

Rezumat

Gazele naturale au reprezentat și vor reprezenta o resursă energetică utilizată pe scară largă la nivel mondial, iar în România, în particular, acestea asigură circa o treime din consumul de energie la nivel național, beneficiind de avantajul că țara noastră deține și resurse importante în acest domeniu.

Extracția, transportul, înmagazinarea subterană și distribuția gazelor naturale reprezintă activitățile principale care fac parte din procesul de producere a acestui tip de energie.

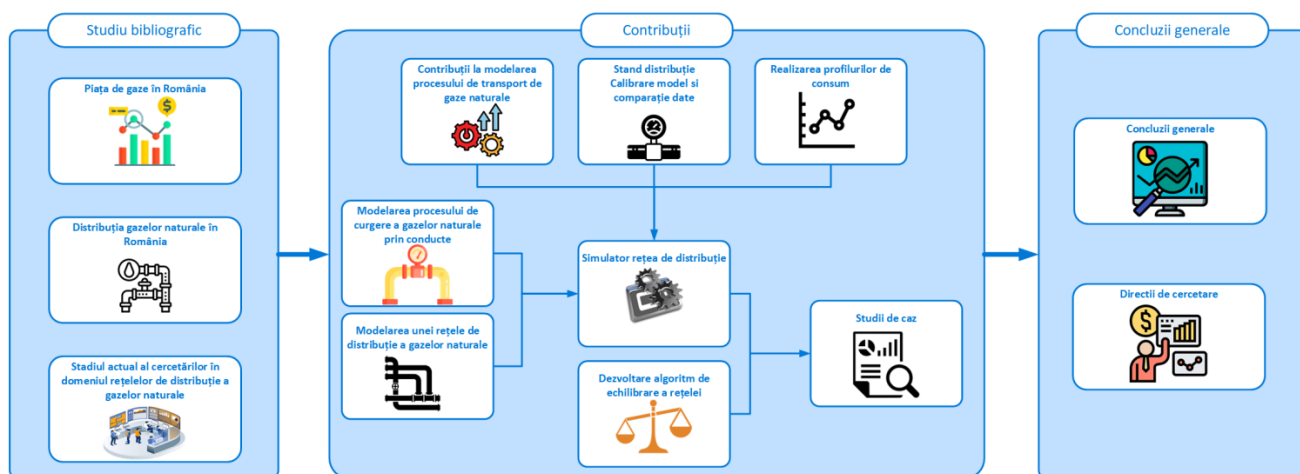
Distribuția gazelor naturale reprezintă activitatea de repartizare a acestora printr-o rețea de conducte, cu scopul de a le fi furniza clienților, fie ei casnici sau industriali. Procesul de distribuție este unul complex, depinzând de punctele de interconectare cu rețeaua de transport, mărimea rețelei de conducte și a ariei de acoperire, elementele de reglare și măsurare existente, respectiv de numărul clienților casnici și industriali. Operarea sau dispecerizarea procesului de distribuție a gazelor naturale are ca obiectiv echilibrarea permanentă a cantităților de gaze naturale intrate sau ieșite, și implicit, respectarea obligațiilor contractuale în raport cu clienții prin asigurarea funcționării continue a sistemului în condiții de maximă siguranță.

Teza de doctorat cu titlu „Contribuții privind operarea inteligentă a rețelelor de distribuție a gazelor naturale” are ca obiectiv principal identificarea și propunerea unor soluții inovative privind operarea rețelelor de distribuție a gazelor naturale prin intermediul unui algoritm de echilibrare și dezvoltarea unui simulator numeric.

Pentru atingerea obiectivului enunțat, s-au realizat următoarele activități de cercetare:

- Analiza principalelor aspecte legate de piața de gaz din România;
- Sintetizarea informațiilor din domeniul distribuției gazelor naturale în România;
- Analiza stadiului actual al operării în procesul de distribuție a gazelor naturale;
- Studiul celor mai noi cercetări la nivel mondial legate de domeniul distribuției gazelor naturale;
- Simularea procesului de transport a gazelor naturale prin rețelele de distribuție, atât în regim staționar, cât și nestaționar, pe baza modelelor existente;
- Studiu de caz privind calibrarea compoziției gazelor în cadrul rețelelor de distribuție a gazelor naturale;
- Studiu privind modelarea comportamentului vanelor în cadrul rețelelor de distribuție a gaze naturale;
- Model de grupare a consumatorilor în cadrul rețelelor de distribuție a gazelor naturale;
- Modelarea curgerii staționare și nestaționare printr-o rețea a gazelor naturale și dezvoltarea unui simulator pentru distribuția gazelor naturale prin rețele de conducte;

- Dezvoltarea unei aplicații de monitorizare a standului de distribuție a gazelor naturale existent în cadrul Departamentului Forajul Sondelor, Extrakția și Transportul Hidrocarburilor din cadrul Universității Petrol-Gaze din Ploiești;
- Studiu comparativ privind rezultatele obținute cu simulatorul dezvoltat, Simone, AFT Arrow și datele reale obținute prin intermediul aplicației de monitorizare a standului;
- Determinarea profilului de consum utilizând regresia neliniară;
- Determinarea profilului de consum utilizând rețelele neuronale;
- Dezvoltarea algoritmului de echilibrare al rețelei de distribuție gaze naturale;
- Studii de caz privind aplicarea algoritmului de echilibrare la o rețea de distribuție gaze naturale existentă;
- Studiu de caz privind consumurile orare într-o rețea de distribuție a gazelor naturale.



Reprezentarea grafică a structurii tezei de doctorat

Teza de doctorat este structurată pe cinci capitole, precedate de introducere și urmate de concluzii, nomenclator, bibliografie și anexe. Lucrarea de față cuprinde un număr de 152 pagini, regăsim un număr 102 de figuri, reprezentări grafice, scheme și desene, 28 de structuri tabelare și 140 relații, ecuații și formule matematice, un număr de 103 referințe bibliografice și 3 anexe. Fiecare din cele cinci capitole conține, la final, o secțiune în care sunt enunțate concluziile asociate acestuia.

Primul capitol al tezei de doctorat, intitulat *Stadiul actual al cercetărilor în domeniul rețelelor de distribuție a gazelor naturale*, evidențiază atât principalele elemente ale pieței de gaze în România, cât și cele mai importante puncte ale strategiei energetice ale României. Tot în acest capitol sunt prezentate caracteristicile sistemelor de distribuției a gazelor naturale în România și, de asemenea, se realizează o analiză a situației actuale a procesului de operare al rețelelor de distribuție a gazelor naturale.

În cadrul **capitolului 2**, *Modelarea procesului de curgere a gazelor naturale prin conducte*, sunt studiate modelele matematice și algoritmi pentru curgerea staționară și nestaționară a gazelor printr-o conductă, însoțite de aplicații dezvoltate de autor și

exemplificarea fenomenelor, pentru fiecare model în parte. De asemenea, este prezentat un algoritm de calibrare al compoziției gazelor prin recalcularea proprietățile pseudo-componenților și un studiu de caz pentru a verifica corectitudinea acestuia.

În **capitolul 3**, *Contribuții la modelarea procesului de transport de gaze naturale*, sunt prezentate modele pentru echipamentele ce permit realizarea reglajelor în cadrul rețelelor de gaze naturale și rezultatele simulărilor pentru modelul de vană propus. Tot în acest capitol se propune o ipoteză simplificatoare în ceea ce privește modul de grupare al clienților pentru simularea unei rețele de distribuție a gazelor naturale, în vederea micșorării timpului de obținere a rezultatelor.

Capitolul 4, intitulat *Modelarea unei rețele de distribuție a gazelor naturale*, prezintă noțiunile de bază care definesc principiile modelării curgerii staționare și nestaționare printr-o rețea de gaze. Validarea și calibrarea modelului dezvoltat în cadrul acestei lucrări s-a realizat prin compararea rezultatelor cu alte două simulatoare, cât și cu datele obținute prin intermediul aplicației dezvoltate pentru monitorizarea standului de distribuție al gazelor naturale, construit în cadrul Departamentului Forajul Sondelor, Extractia și Transportul Hidrocarburilor.

În **capitolul 5**, cu titlul *Operarea inteligentă a unei rețele de distribuție a gazelor naturale*, sunt prezentate elementele privind monitorizarea și operarea inteligentă a unei rețele de distribuție a gazelor naturale, realizarea profilurilor de consum atât în mod clasic, prin utilizarea funcțiilor de regresie neliniară, cât și prin utilizarea rețelelor neuronale, enunțarea algoritmului de echilibrare propus, cât și validarea acestuia prin studii de caz.

La finalul lucrării regăsim *Concluzii generale, contribuții personale și direcții de cercetare*, care sintetizează rezultatele cercetării, menționează elementele de noutate aduse și prezintă direcțiile de continuare a cercetărilor.

Abstract

Natural gas has been and will continue to be a widely used energy resource worldwide, and in Romania, in particular, it provides about a third of the national energy consumption, benefiting from the advantage that our country also has significant resources in this field.

Extraction, transmission, underground storage and distribution of natural gas are the main activities that are part of the natural gas production process.

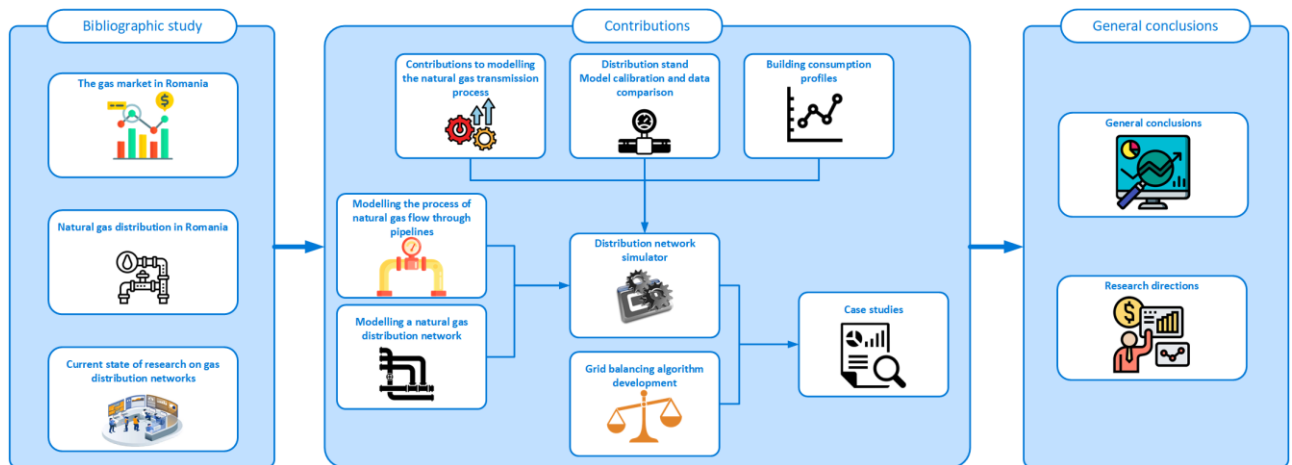
Gas distribution is the repartition of natural gas through a network of pipelines for the purpose of supplying it to domestic and industrial customers. The distribution process is complex, depending on the interconnection points with the transmission network, the size of the pipeline network and its coverage area, the existing control and measurement elements and the number of domestic and industrial customers. The objective of the operation or dispatching of the natural gas distribution process is the continuous balancing of the quantities of natural gas entering or leaving the system, and thus the fulfilment of contractual obligations towards customers by ensuring the continuous operation of the system under maximum safety conditions.

The main objective of the PhD thesis entitled "Contributions regarding smart operation of natural gas distribution networks" is to identify and propose innovative solutions for the operation of natural gas distribution networks by developing a balancing algorithm and a numerical simulator.

In order to achieve the stated objective, the following research activities have been carried out:

- Analysis of the main aspects related to the gas market in Romania;
- Summarising information in the field of natural gas distribution in Romania;
- Analysis of the current state of operation in the natural gas distribution process;
- Study of the latest research worldwide related to the field of natural gas distribution;
- Simulation of the natural gas transmission process through distribution networks, both stationary and non-stationary, based on existing models;
- Case study on gas composition calibration in natural gas distribution networks;
- Study on modelling the behaviour of valves in natural gas distribution networks;
- Model of customer grouping in natural gas distribution networks;
- Modelling stationary and non-stationary flow through a natural gas network and developing a simulator for natural gas distribution through pipeline networks;
- Development of a monitoring application for the existing natural gas distribution stand in the Department of Department of Well Drilling, Extraction and Transport of Hydrocarbons within Petroleum – Gas University of Ploiești;

- Comparative study on the results obtained with the developed simulator, Simone, AFT Arrow and the real data acquired through the stand monitoring application;
- Determination of the consumption profile using nonlinear regression;
- Determination of the consumption profile using neural networks;
- Development of natural gas distribution network balancing algorithm;
- Case studies regarding the application of the balancing algorithm to an existing natural gas distribution network;
- Case study on hourly consumption in a natural gas distribution network.



Graphical illustration of the PhD thesis structure

The thesis is structured in five chapters, preceded by an introduction and followed by conclusions, nomenclature, bibliography and appendices. This work includes 152 pages, 102 figures, graphs, diagrams and drawings, 28 tables and 140 mathematical relations, equations and formulas, 103 bibliographical references and 3 appendices. At the end of each of the five chapters there is a section setting out the conclusions associated with each one.

The **first chapter** of the PhD thesis, titled *The current state of research in the field of gas distribution networks*, highlights both the main elements of the gas market in Romania and the most important points of its energy strategy. This chapter also presents the characteristics of the gas distribution systems in Romania and analyses the current situation of the gas distribution network operation process.

In **Chapter 2**, *Modelling of the natural gas flow process through pipelines*, mathematical models and algorithms for stationary and non-stationary gas flow through a pipeline are studied, with applications developed by the author and examples of the phenomena for each model. An algorithm for calibrating the gas composition by recalculating the pseudo-component properties and a case study to verify its accuracy is also presented.

In **Chapter 3**, *Contributions to the modelling of the natural gas transmission process*, models are presented for the equipment that allows adjustments to be made in natural gas networks and simulation results for the proposed valve model. Also in this chapter, a simplifying

assumption is proposed for how to group customers for the simulation of a natural gas distribution network in order to reduce the time to obtain results.

Chapter 4, *Modelling a natural gas distribution network*, presents the basic concepts that define the principles of modelling stationary and non-stationary flow through a gas network. The validation and calibration of the model developed in this paper was done by comparing the results with two other simulators as well as with data obtained through the application developed for monitoring the natural gas distribution stand built in the Department of Well Drilling, Extraction and Transport of Hydrocarbons.

In **Chapter 5**, entitled *Smart operation of a natural gas distribution network*, the elements of monitoring and intelligent operation of a natural gas distribution network are presented, consumption profiling both in the classical way, using nonlinear regression functions, and using neural networks, the proposed balancing algorithm is described and validated through case studies.

At the end of the paper we find *General conclusions, personal contributions and research directions*, which summarize the research results, mention the novelties and current directions for further research.

Bibliografie

1. 1. AFT-Arrow. AFT Arrow - Quick Start Guide. Disponibil online: https://www.aft.com/images/Quickstart_Guide/Arrow-7-Quick-Start-Metric.pdf (accesat în aprilie 2023).
2. AFT-Arrow. AFT Arrow Gas Flow Simulation Software. Disponibil online: <https://www.aft.com/products/arrow> (accesat în aprilie 2023).
3. Albulescu, M.; Neacșu, S.; Eparu, C.N.; Bambo, S.; Suditu, S. Considerații referitoare la capacitatea maximă de transport a conductelor / rețelelor de gaze naturale. *Revista Termotehnică* **2011**, 1.
4. Aniefiok, L.; Boniface, O. A new approach of splitting C6+ composition of pipeline gas for hydrocarbon dew point determination. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* **2013**, 4, 201-207, doi:10.1007/s13202-013-0073-y.
5. ANRE. Codul rețelei SNT. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/gaze-naturale/legislatie/reglementari-tehnice/codul-retelei-snt> (accesat în aprilie 2023).
6. ANRE. Consum tehnologic distribuție GN. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/gaze-naturale/legislatie/metodologii/consum-tehnologic-distributie-gn> (accesat în aprilie 2023).
7. ANRE. Contorzarea inteligentă în România. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=gKp%2BhA%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D> (accesat în aprilie 2023).
8. ANRE. Energie electrică - legislație smart metering. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/energie-electrica/legislatie/smart-metering> (accesat în aprilie 2023).
9. ANRE. Lista furnizorilor de gaze naturale pe piața cu amănuntul. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/info-consumatori/operatori-economici/gaze-naturale1391006232/lista-furnizorilor-de-gaze-naturale-pe-piata-cu-amanuntul> (accesat în aprilie 2023).
10. ANRE. Metodologii și criterii. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/gaze-naturale/legislatie/metodologii-tarifare/metodologii-si-criterii> (accesat în aprilie 2023).
11. ANRE. Norme tehnice pentru proiectarea, executarea și exploatarea sistemelor de alimentare cu gaze naturale. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/gaze-naturale/legislatie/reglementari-tehnice/norme-tehnice1387184362> (accesat în aprilie 2023).
12. ANRE. Ord.105/2018 pentru aprobarea Regulilor generale privind piețele centralizate de gaze naturale. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=hah7gw%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D> (accesat în aprilie 2023).
13. ANRE. Ordin 54/2014 privind unele măsuri pentru dezvoltarea pieței gazelor naturale Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=gK2DhQ%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D> (accesat în aprilie 2023).
14. ANRE. Ordin nr. 16 din 27 martie 2013 privind aprobarea Codului rețelei pentru Sistemul național de transport al gazelor naturale. Disponibil online: <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocumentAfis/146468> (accesat în aprilie 2023).
15. ANRE. ORDIN nr. 41/21.03.2018 privind modificarea și completarea Normelor tehnice pentru proiectarea și execuția conductelor de transport gaze naturale, aprobate prin Ordinul președintelui Autorității Naționale de Reglementare în Domeniul Energiei nr. 118/2013, Publicat în MO nr. 291 din 30 martie 2018. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=hap%2Biq%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D> (accesat în aprilie 2023).
16. ANRE. Piața gazelor naturale. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/gaze-naturale/informatii-de-interes-public/piata-gazelor-naturale> (accesat în aprilie 2023).
17. ANRE. Raport anual ANRE 2020. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=fqh8haU%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D> (accesat în aprilie 2023).
18. ANRE. Raport privind rezultatele monitorizării activității de informare a clienților finali realizate de titularii de licență pentru activitatea de furnizare a gazelor naturale în anul 2021. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=fql8hqI%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D> (accesat în aprilie 2023).
19. ANRE. Reglementări comerciale piața de gaze. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/ro/gaze-naturale/legislatie/piata-gazelor-naturale/alte-reglementari-comerciale> (accesat în aprilie 2023).
20. ANRE. www.anre.ro. Disponibil online: (accesat în aprilie 2023).
21. Azar, A.R.; Nichols, K.G. Sparse-matrix algorithm for transient analysis of nonlinear electrical networks. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers* **1975**, 122, doi:10.1049/piee.1975.0216.
22. Benjamin, E.W.; Streeter, V.L. *Fluid Transients*; McGraw-Hill, 1978.
23. Boyer, S.A. *Scada: Supervisory Control And Data Acquisition*, 4th ed.; ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society: 2009.

24. Britannica. Gustav Kirchhoff - German physicist. Disponibil online: <https://www.britannica.com/biography/Gustav-Robert-Kirchhoff> (accesat în aprilie 2023).
25. Bruno, T.J. *Constituents and Physical Properties of the C6+ Fraction of Natural Gas*; National Institute of Standards and Technology Boulder, CO 80303: 1994.
26. Carafoli, E.; Oroveanu, T. *Mecanica fluidelor*; Academiei Republicii Populare Romane: 1952.
27. DANESHYAR, H. *One-Dimensional Compressible Flow*; Pergamon Press: Oxford, New York, Toronto, 1976.
28. Danfoss. Electrovalva Danfoss. Disponibil online: <https://store.danfoss.com/ro/ro/Climate-Solutions-pentru-refrigerare/Valve/Bobine-pentru-electroventile/Bobine-pentru-valve-cu-solenoid/Bobin%C4%83-solenoid%2C-BE230AS%2C-Cutie-cu-terminale%2C-Tensiune-alimentare-%5BV%5D-CA%3A-220---230%2C-Pachet-multiplu/p/018F6701> (accesat în aprilie 2023).
29. Emerson. *Control valve handbook*, Fifth Edition ed.; 2019.
30. Emerson. Valve Sizing Calculations. Disponibil online: <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-valve-sizing-standardized-method-fisher-en-140724.pdf> (accesat în aprilie 2023).
31. Eparu, C. *Managementul sistemelor de distribuție gaze naturale*; Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești: 2019.
32. Eparu, C.; Neacsu, S.; Stoica, D.B. Balancing of distribution networks using the SIMONE software. In Proceedings of the SIMONE Congress, Portugalia, Octombrie 2014, 2014.
33. Eparu, C.; Neacsu, S.; Stoica, D.B. The Use of Numerical Simulators to Determine the Daily Balance of the Natural Gas Distribution Network. *Journal of Eastern Europe Research in Business and Economics* **2013**, 1-13, doi:10.5171/2013.404582.
34. Eparu, C.; Neacsu, S.; Stoica, D.B.; Popescu, L. Operating Platform for Transmission Systems Built with a MapEdit Interface and SIMONE Software as the Calculation Engine. In Proceedings of the SIMONE Congress, Portugalia, Octombrie 2014, 2014.
35. Eparu, C.; Neacsu, S.; Stoica, D.B. An Original Method to Calculate the Daily Gas Balance for the Gas Network Distribution. *Proceedings of the 21st International Business Information Management Association (IBIMA) Conference* **2013**, 735-747.
36. Eparu, C.; Rădulescu, R.; Stoica, D.B. The dynamic simulation of the natural gas transportation. *Analele Universitatii "Ovidius" Constanta - Seria Chimie* **2013**, 24, 83-97, doi:10.2478/auoc-2013-0016.
37. Eparu, C.; Stoica, D.B. *Probleme actuale în transportul gazelor naturale*; Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești: Ploiești, 2022.
38. Eparu, C.N.; Neacsu, A.; Stoica, D.B. Gas Losses in the Distribution Networks: An Interdisciplinary Analysis. *Energies* **2022**, 16, doi:10.3390/en16010196.
39. Eparu, C.N.; Neacsu, S.; Neacsu, A. Correlation of Gas Quality with Hydrodynamic Parameters in Transmission Networks. In Proceedings of the MATEC Web of Conferences, 2019.
40. EU-Energy. Benchmarking smart metering deployment in the EU-28. Disponibil online: https://energy.ec.europa.eu/benchmarking-smart-metering-deployment-eu-28_en (accesat în aprilie 2023).
41. European-Commission. A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe.
42. Fini. Compresor Fini cu piston - 100l. Disponibil online: https://www.finicompressors.com/images/PDF/FINI_cat_Professional_IT-EN.pdf (accesat în aprilie 2023).
43. Flowserve. Catalog vane și reglatoare. Disponibil online: <https://www.flowserve.com/en/products/products-catalog/valves/> (accesat în aprilie 2023).
44. Gheorghe, A. *Ecuatii diferențiale și ecuațiile fizicii matematice*; Editura Universitatii "Alexandru Ioan Cuza" Iasi: 2003.
45. Gheorghe, A.; Constantin, I. *Ecuatii cu derivate parțiale și aproximare numerică* Editura Universitatii "Alexandru Ioan Cuza" Iasi: 2005.
46. Guvernul-Romaniei. Ord. 217/2018 privind aprobarea Metodologiei de stabilire a tarifelor reglementate pentru serviciile de distribuție în sectorul gazelor naturale. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=hqZ7gw%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvby%3D> (accesat în aprilie 2023).
47. Guvernul-Romaniei. *Strategia energetică a României 2020-2030, cu perspectiva anului 2050*; Ministerul Economiei, Energiei și Mediului de Afaceri: 2020.
48. Idelchik, I.E. *Handbook of Hydraulic Resistance, 4th Edition Revised and Augmented* Begell House, Inc. Publishers: 2021.
49. Il'kaev, R.I.; Seleznev, V.E.; Aleshin, V.V.; Klishin, G.S. *Numerical Simulation of Gas Pipeline Networks: Theory, Computational Implementation, and Industrial Applications*; 2005.
50. Ion, M. Politici energetice - suport de curs.
51. ISA. Flow Equations for Sizing Control Valves - ISA-75.01.01-2007 (60534-2-1 Mod) - USA. **2007**.
52. Kabalci, E.; Kabalci, Y. *From Smart Grid to Internet of Energy, Chapter 1 - Introduction to smart grid and internet of energy systems*; Academic Press: 2019.

53. Katz, D.E.; Cornell, D.; Vary, J. *Handbook of Natural Gas Engineering*; McGraw-Hill: New York, 1959.
54. Kralik, J.; Stiegler, P.; Vostry, Z.; Zavorka, J. A universal dynamic simulation model of gas pipeline networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **1984**, SMC-14, 597-606, doi:10.1109/tsmc.1984.6313331.
55. Larson, R.E.; Wismer, D.A. Hierarchical Control of Transient Flow in Natural Gas Pipeline Networks. In Proceedings of the Proceedings of the IFAC symposium on the control of distributed parameter system, Alberta, Canada, 1971.
56. Liviana, T.; Adrian, M. Metode de estimare a erorilor în aproximarea funcțiilor. *Revista Română de Informatica și Automatica* **2015**, 25, 9.
57. LIWACOM. LIWACOM - SIMONE Software. Disponibil online: <https://www.liwacom.de/> (accesat în aprilie 2023).
58. Marinoiu, V. *Elemente de execuție*; Editura Tehnică: București, 1999.
59. Monsen, J. Gas Flow in Control Valves. Disponibil online: <https://www.valin.com/resources/blog/gas-flow-control-valves> (accesat în aprilie 2023).
60. Neacsu, A.; Eparu, C.N.; Stoica, D.B. Hydrogen-Natural Gas Blending in Distribution Systems—An Energy, Economic, and Environmental Assessment. *Energies* **2022**, 15, doi:10.3390/en15176143.
61. Neacsu, A.; Rehman Khan, S.A.; Panait, M.; Apostu, S.A. The Transition to Renewable Energy—A Sustainability Issue? In *Energy Transition: Economic, Social and Environmental Dimensions*, Khan, S.A.R., Panait, M., Puime Guillen, F., Raimi, L., Eds.; Springer Nature Singapore: Singapore, 2022; pp. 29-72.
62. Neacsu, S.; Stoica, D.B.; Eparu, C.; Cristoloveanu, V. A Simplified Method to Calculate the Hydraulic Loss Coefficient in Transport Networks. In Proceedings of the Balkantrib'14, 8th International Conference on Tribology, Sinaia, România, 30th October - 1st November 2014, 2014.
63. Neacsu, S. *Termodinamica sistemelor tehnice*; Editura Universității din Ploiești: 2003.
64. Neacsu, S. *Termotehnică și mașini termice*; Editura Universității din Ploiești: 2009.
65. Neacsu, S.; Eparu, C.N. Contract nr. 600003047/7/2009 - Determinarea profilurilor de consum zilnic; E-ON Gaz Distribuție: 2009.
66. Neacsu, S.; Eparu, C.N. Contract nr. 4600003527/51/2009 - Optimizarea profilurilor de consum zilnic; E-ON Gaz Distribuție: 2009.
67. Neacsu, S.; Suditu, S.; Stoica, D.B. Considerations on transport capacity of natural gas pipelines and its limits. *Analele Universitatii "Ovidius" Constanta - Seria Chimie* **2013**, 24, 67-72, doi:10.2478/auoc-2013-0013.
68. NXP. Traductor de presiune MPX2010DP. Disponibil online: <https://www.tme.eu/en/details/mpx2010dp/pressure-sensors/nxp-freescale/> (accesat în aprilie 2023).
69. NXP. Traductor de presiune MPX5500DPNXP. Disponibil online: <https://www.tme.eu/en/details/mpx5500dp/pressure-sensors/nxp-freescale/> (accesat în aprilie 2023).
70. OPC. Open Platform Communications. Disponibil online: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/> (accesat în aprilie 2023).
71. OPCOM. Profil OPCOM. Disponibil online: <https://www.opcom.ro/compania/ro/2> (accesat în aprilie 2023).
72. Oroveanu, T. *Hidraulica și transportul produselor petroliere*; Editura Didactică și Pedagogică: 1966.
73. Osiadacz, A.J. *Simulation and Analysis of Gas Networks*; Gulf Publishing Company, Houston: 1987.
74. Osiadacz, A.J.; Gorecki, M. Optimization of Pipe Sizes For Distribution Gas Network Design. In Proceedings of the PSIG Annual Meeting, 1995.
75. Osiadacz, A.J.; Swierczewski, S. Optimal control of gas transportation systems. In Proceedings of the Proceedings of IEEE International Conference on Control and Applications, 24-26 August 1994, 1994.
76. Paraschiv, N. *Echipamente numerice pentru conducerea proceselor*; Editura Universității din Ploiești: 1996.
77. Paraschiv, N.; Popescu, M. *Sisteme distribuite de supervizare și control* Editura Universității din Ploiești: 2014.
78. Parlamentul-Romaniei. Legea gazelor nr. 351 din 14 iulie 2004. Disponibil online: <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/63734> (accesat în aprilie 2023).
79. Parlamentul-României. Legea energiei electrice și a gazelor naturale nr. 123/2012. Disponibil online: <https://arhiva.anre.ro/download.php?f=f617qq%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvbY%3D> (accesat în aprilie 2023).
80. Pătrășcioiu, C.; Mihalache, S.; Popescu, M. Elemente de execuție - suport curs. Disponibil online: http://ac.upg-ploiesti.ro/cursuri/ee/ee_note_de_curs.pdf (accesat în aprilie 2023).
81. Rachford, H.H.; Dupont, T. A Fast, Highly Accurate Means of Modeling Transient Flow in Gas Pipeline Systems by Variational Methods. *Society of Petroleum Engineers Journal* **1974**, 14, 165-178, doi:10.2118/4005-a.

82. Rachford, H.H.; Dupont, T. Some Applications of Transient Flow Simulation To Promote Understanding the Performance of Gas Pipeline Systems. *Society of Petroleum Engineers Journal* **1974**, *14*, 179-186, doi:10.2118/4005-b.
83. Racoveanu, N.; Dodescu, G.; Mincu, I. *Metode numerice pentru ecuații cu derivate parțiale de tip parabolic*; Editura Tehnică: București, 1977.
84. Ravindra, A.; Thomas, M.; James, O. *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*; Prentice-Hall, Inc: 1993.
85. Saad, A.M. *Compressible Fluid Flow*; Edition, F., Ed.; Prentice-Hall, 1985.
86. SamsonControls. Catalog vane și reglatoare. Disponibil online: <https://www.samsoncontrols.net/brouchers.html> (accesat în aprilie 2023).
87. Simone. SIMONE Software - System Description. Disponibil online: <https://www.simone.eu/simone-simonesoftware.asp> (accesat în aprilie 2023).
88. Smart-Energy. Proiectul CARMEN - Romania-Ungaria Smart Grid. Disponibil online: <https://www.smart-energy.com/regional-news/europe-uk/project-carmen-joint-romania-hungary-smart-grid/> (accesat în aprilie 2023).
89. Snap-Energy. History of Smart Meters. Disponibil online: <https://snapenergylatino.com/history-of-smart-meters/> (accesat în aprilie 2023).
90. Stoica, D.B.; Eparu, C. *Bazele simulării în transportul, depozitarea și distribuția hidrocarburilor – Suport de curs*; Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești: Ploiești, 2022.
91. Stoica, D.B.; Eparu, C.; Neacsu, S.; Albulescu, M. The Consumption Profile Estimation using Neural Networks. In Proceedings of the Proceedings of the 37th International Business Information Management Association (IBIMA), Cordoba, Spain, 30-31 May 2021, 2021; pp. 10953-10962.
92. Stoica, D.B.; Eparu, C.; Neacsu, S.; Prundurel, A.P. Flow Assurance Optimization in Gas Transport Network. In Proceedings of the Proceedings of the 37th International Business Information Management Association (IBIMA), Cordoba, Spain, 30-31 May 2021, 2021; pp. 10971-10980.
93. Stoica, D.B.; Eparu, C.N.; Neacsu, A.; Prundurel, A.P.; Simescu, B.N. Investigation of the gas losses in transmission networks. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* **2021**, *12*, 1665-1676, doi:10.1007/s13202-021-01426-5.
94. Stoner, M.A. Analysis and Control of Unsteady Flows in Natural Gas Piping Systems. *Journal of Basic Engineering* **1969**, *91*, 331-338, doi:10.1115/1.3571107.
95. Thorley, A.R.D. *Fluid Transients in Pipeline Systems*; British Library: 1991.
96. Transgaz. Codul Rețelei actualizat. Disponibil online: https://transgaz.ro/sites/default/files/Downloads/Legislatie/2021.08.23_Site_Codul%20Rețelei_actualizat%20%2005.03.2021_RO3.pdf (accesat în aprilie 2023).
97. Transgaz. Legistlatie Societatea Națională de Transport Gaze Naturale "TRANSGAZ" S.A. Disponibil online: <https://www.transgaz.ro/ro/despre-noi/legislatie> (accesat în aprilie 2023).
98. Trifan, C.; Albulescu, M.; Stoianovici, D. *Distribuția gazelor naturale prin rețele de conducte*; Editura UPG Ploiești: 2019.
99. Vlada, M. Modele neliniare. Teorie și aplicații. In Proceedings of the Lucrările celei de-a X-a Conferință de Învățământ Virtual, 2012.
100. Wago. WAGO 750-8100 - SPS - Controller PFC100 CS 2ETH ECO. Disponibil online: https://www.wago.com/ro/plcs-controllers/starterkit/p/8003-099_750-8100 (accesat în aprilie 2023).
101. Weber. Traductor debit vent-captor tip 3202.30. Disponibil online: <http://www.captor.com/p/home&c=43> (accesat în aprilie 2023).
102. Weber. Traductor debit vent-captor tip 3205.30. Disponibil online: <http://www.captor.com/p/home&c=41> (accesat în aprilie 2023).
103. Wilkinson, J.F.; Holiday, D.V.; Batey, J.F.; Hannah, K.W. *Transient flow in natural gas transmission systems*; American Gas Association: New York, 1965.