

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 MIȘCAREA NESTAȚIONARĂ A GAZELOR NATURALE ÎN AMESTEC CU HIDROGEN ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

Autor: Ing. Bogdan Andrei IONETE

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

Ploiești 2024

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 MIȘCAREA NESTAȚIONARĂ A GAZELOR NATURALE ÎN AMESTEC CU HIDROGEN ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

CONTRIBUTIONS REGARDING THE NON- STATIONARY MOVEMENT OF NATURAL GAS MIXED WITH HYDROGEN IN DISTRIBUTION NETWORKS

Autor: Ing. Bogdan Andrei IONETE

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

Nr. Decizie 646 din 04.09.2024

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.dr.ing. Sorin Mihai RADU	de la	Universitatea din Petroșani
Referent oficial	Prof.univ.habil.dr.ing. Florin Dumitru POPESCU	de la	Universitatea din Petroșani
Referent oficial	Conf.univ.dr.ing. Cristian Nicolae EPARU	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești 2024

Cuprins

Introducere	4
1. Generalități despre gaze naturale și hidrogen	4
1.1. Situația energetică actuală	4
1.2. Hidrogenul – purtător de energie	5
1.3. Evoluția prețurilor gazelor naturale și hidrogenului	6
2. Distribuția hidrogenului în amestec cu gazele naturale	7
2.1. Distribuția gazelor naturale	7
2.2. Generalități privind distribuția hidrogenului prin intermediul rețelelor de gaze naturale8	
2.3. Performanța sistemului de gaze naturale în prezența hidrogenului	9
3. Modelarea rețelelor de gaze naturale	11
3.1. Modelarea curgerii gazelor prin conducte	11
3.2. Modelarea curgerii gazului prin rețele de distribuție	11
4. Prezentarea rețelei și scenariilor pentru simulare	11
4.1. Așezarea comunei Coșereni	11
4.2. Prezentarea rețelei de distribuție gaze naturale	12
4.3. Prezentarea datelor pentru simulare	13
4.4. Prezentarea scenariilor pentru simulare	15
5. Analiza dinamicii rețelei și prezentarea rezultatelor	15
5.1. Studiul deplasării gazului natural cu hidrogen	16
5.2. Determinarea debitelor necesare în funcție de reducerea puterii calorifice	17
5.3. Determinarea căderii de presiune în rețea în funcție de concentrația de hidrogen și debit 18	
5.4. Determinarea consumului orar în funcție de concentrația de hidrogen	19
Concluzii finale, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare	20
Bibliografie	22

Introducere

Gazul natural rămâne esențial în prezent, dar presiunile ecologice cresc interesul pentru surse alternative.

Hidrogenul, în special cel verde și albastru, este considerat un potențial substituent pentru combustibilii fosili, având amprentă redusă de carbon.

Producerea hidrogenului sustenabil este costisitoare și tehnologia necesită dezvoltare.

Tranziția va fi graduală, iar amestecul hidrogenului cu gazele naturale reprezintă o soluție intermediară.

Implementarea sigură a acestor amestecuri necesită cercetări suplimentare și reglementări precise.

Teza de doctorat analizează comportamentul unei rețele de distribuție de gaze naturale prin includerea hidrogenului în amestec.

Studiul se bazează pe modelări numerice realizate cu date reale. Lucrarea se sprijină pe referințe variate, combinând surse de specialitate și articole online, având în vedere caracterul dinamic al subiectului.

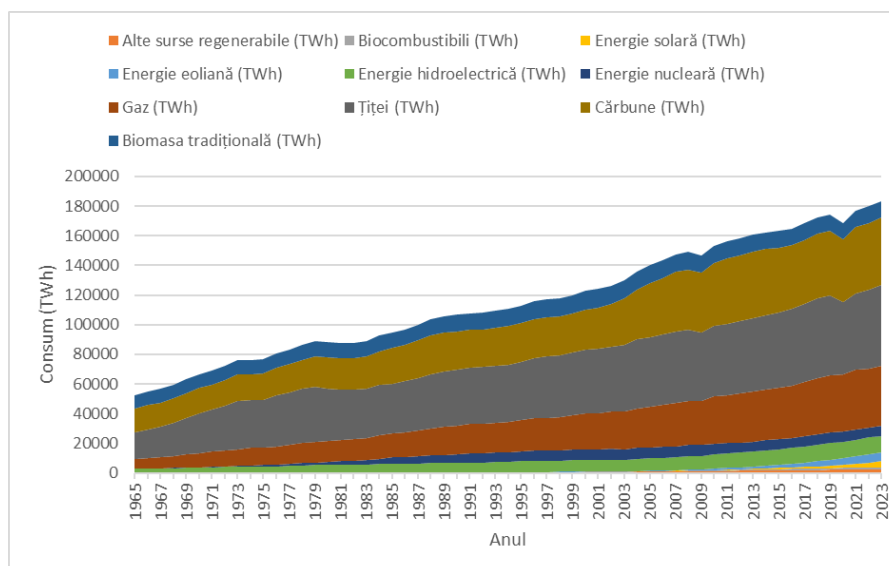
Rezultatele obținute confirmă sau infirmă concluziile altor cercetători și oferă perspective utile pentru viitoarele practici în domeniu.

1. Generalități despre gaze naturale și hidrogen

1.1. Situația energetică actuală

De mai mult de un secol, țițeiul și gazele naturale au reprezentat principalele surse de energie la nivel global, fiind fundamentale pentru dezvoltarea infrastructurii și a tehnologiilor moderne. Totuși, utilizarea combustibililor fosili reprezintă un rol major în emisiile poluante, accelerând astfel schimbările climatice și încălzirea globală. O analiză efectuată în 2017, arată că industria petrolului și gazelor naturale este responsabilă pentru peste 40% din emisiile poluante. Deși există o tranziție energetică către surse regenerabile, consumul de combustibili fosili continuă să crească.

Resursele de petrol sunt limitate, dar descoperirea de noi zăcăminte a întârziat previziunile privind epuizarea acestora. Distribuția rezervelor de țiței și gaze naturale este neuniformă, cu regiuni precum Asia-Pacific, America de Nord și Europa consumând mai mult decât produc, datorită dezvoltării industriale și sociale.



Consumul total mondial de energie în funcție de categorii de surse între anii 1965 și 2023 [2]

1.2. Hidrogenul – purtător de energie

„O industrie minerală rămâne fără clienți înainte de a rămâne fără minerale”.

„Procesul de creștere a utilizării surselor de energie alternative reprezintă misiunea de înlocuire treptată a petrolului, așa cum petrolul a substituit cărbunele în ultimul secol și așa cum cărbunele a înlocuit lemnele de foc în secolul al XIX-lea”.

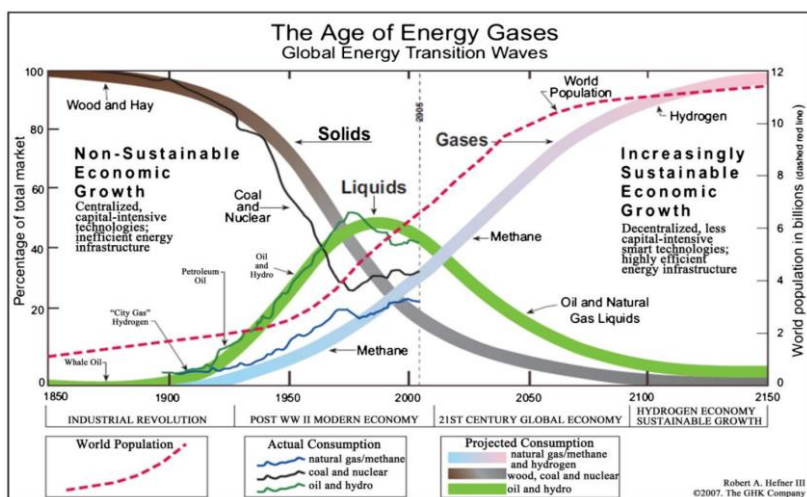
Hidrogenul este de mai multe tipuri (verde, albastru, gri) în funcție de impactul lor asupra mediului.

Deși hidrogenul verde este ideal, producția sa este încă costisitoare, ceea ce face din hidrogenul albastru o soluție intermediară.

Pe termen lung, hidrogenul are potențialul de a înlocui complet gazul natural în infrastructurile energetice globale.

În prezent, majoritatea hidrogenului este obținut ca produs secundar în diverse procese industriale (rafinării și industria amoniacului), cu un rol mai mic în transporturi.

Țări precum Germania, Olanda și Franța sunt printre cei mai mari producători de hidrogen.



Predicție cu privire la tranziția sistemului energetic mondial între anii 1850 și 2150 [14]

1.3. Evoluția prețurilor gazelor naturale și hidrogenului

Deși gazele naturale sunt utilizate pe scară largă datorită infrastructurii existente, fluctuarea prețurilor și epuizarea resurselor stimulează interesul pentru hidrogen.

În ciuda volatilității acestor prețuri, tendința generală a prețului gazelor naturale este de creștere, pe măsură ce resursele devin tot mai dificil și mai costisitor de accesat.

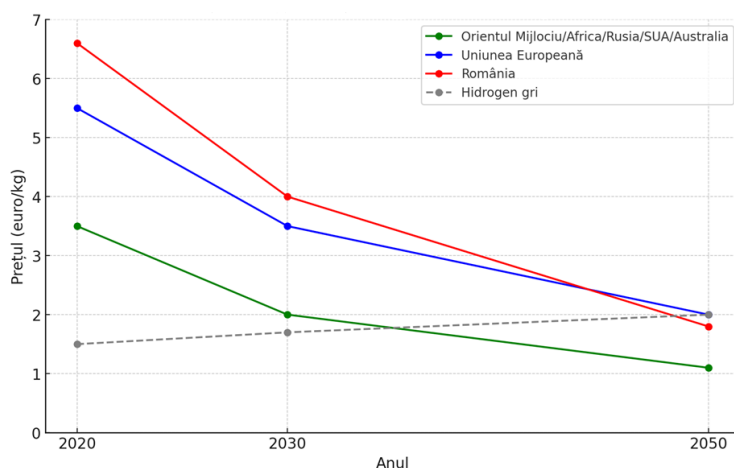
Evoluția prețurilor gazelor naturale a fost influențată de factori precum pandemii și conflicte internaționale, ceea ce subliniază instabilitatea pieței.

Tranziția de la gaze naturale la H_2 necesită investiții semnificative pentru producția de hidrogen și adaptarea infrastructurii.

Hidrogenul verde este văzut ca o soluție pe termen lung, cu costuri de producție în scădere, deși Europa ar putea depinde de importuri și în cazul acestuia din regiuni precum Orientul Mijlociu, Africa, Rusia, SUA, Australia.



Evoluția prețului pentru gazele naturale pe piața Henry Hub din 1989 până în 2023 [8]



Evoluția estimată a prețului hidrogenului verde și gri pe regiuni din anul 2020 până în 2050

2. Distribuția hidrogenului în amestec cu gazele naturale

2.1. Distribuția gazelor naturale

Gazele naturale au fost folosite din 500 î.e.n. în China, iar în secolul al XVIII-lea au început să fie utilizate în Marea Britanie pentru iluminat.

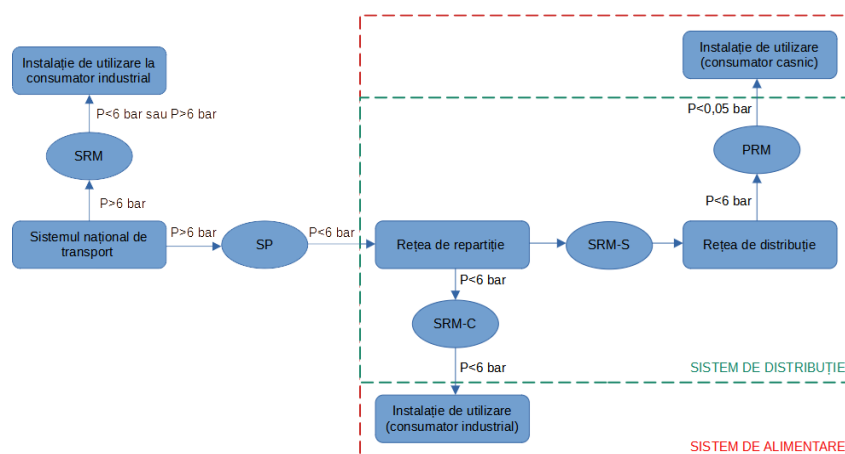
Dezvoltarea tehnologică a permis extinderea exploatării și transportului, inclusiv offshore.

În România, industria gazelor naturale a început în secolul XX, cu primele rețele instalate în localități precum Turda și Mediaș.

Astăzi, România este aproape independentă energetic în ceea ce privește gazele naturale, dar rețelele vechi necesită modernizare.

Distribuția gazelor naturale trebuie să fie echilibrată și sigură prin alinierea intrărilor și consumului.

Gestionarea rețelor se face cu ajutorul sistemelor avansate care monitorizează și ajustează consumul în timp real. Operatorii trebuie să informeze ANRE despre livrările și consumurile de gaze, conform reglementărilor.



Principiul unui sistem de alimentare cu gaze naturale în România

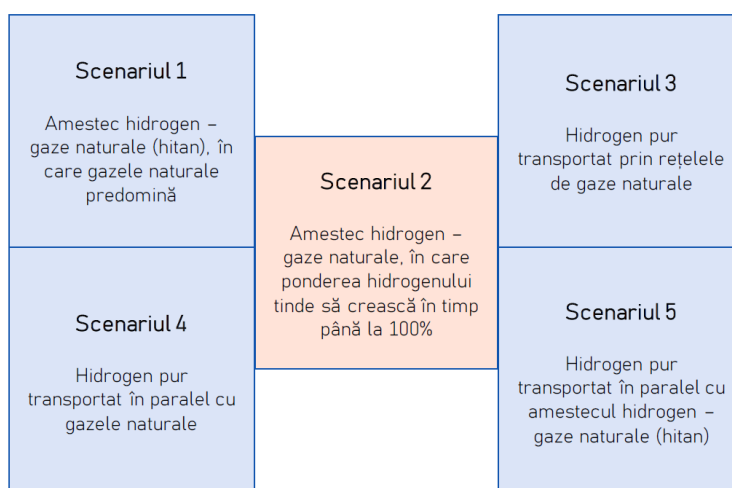
2.2. Generalități privind distribuția hidrogenului prin intermediul rețelelor de gaze naturale

La nivel internațional, se investește în dezvoltarea tehnologiilor pentru transportul și utilizarea hidrogenului ca alternativă ecologică. Proiecte majore vizează crearea unor rețele extinse de conducte pentru hidrogen în Europa și alte regiuni. În Țările de Jos, SUA și alte țări europene, se explorează deja integrarea hidrogenului în infrastructura existentă.

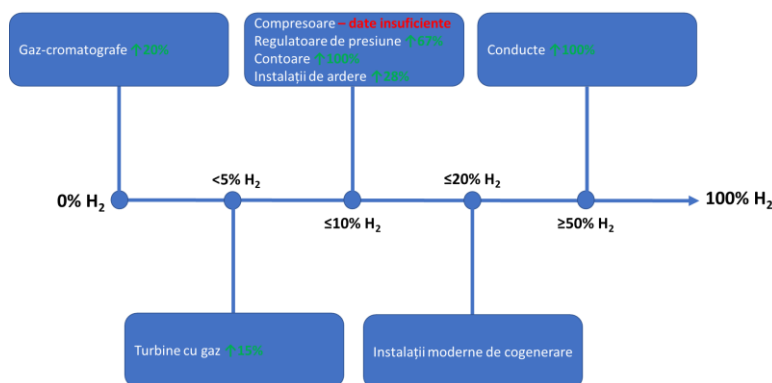
Analiza riscurilor și problemelor legate de utilizarea hidrogenului în rețelele de distribuție a gazelor naturale subliniază mai multe posibile scenarii, dintre care, utilizarea rețelelor existente de gaze naturale fiind cea mai probabilă. Totuși, deși integrarea hidrogenului în rețelele existente este mai economică și prezintă riscuri mai reduse atunci când hidrogenul este amestecat cu gazele naturale, aceasta aduce totuși provocări semnificative legate de siguranță și performanță.

Studiile au identificat multiple probleme potențiale, inclusiv scurgeri de presiune, riscuri de explozie, scăderea capacității reguletoarelor de presiune, și fragilizarea materialelor cauzată de hidrogen. Alte probleme includ toleranța redusă a debitmetrelor la hidrogen și impactul asupra capacității de stocare a rețelei. Variabilitatea concentrației de hidrogen în rețea și sporirea căderii de presiune sunt de asemenea factori critici care necesită soluții specifice pentru a asigura funcționarea sigură și eficientă a sistemelor de distribuție.

Legislația actuală nu oferă un cadru detaliat pentru transportul și distribuția hidrogenului, deși există inițiative internaționale, cum ar fi Pactul Ecologic European și Strategia privind Hidrogenul, care vizează dezvoltarea unui sector al hidrogenului curat. În România, se observă un sprijin pentru dezvoltarea economiei hidrogenului prin înființarea unor asociații dedicate și implementarea de proiecte relevante. Totuși, pentru a asigura integrarea eficientă a hidrogenului în infrastructura existentă, sunt necesare studii suplimentare și dezvoltarea unor reguli clare și standardizate.



Scenariile distribuției hidrogenului – avantaje și dezavantaje



Limitările infrastructurii de gaze naturale pentru gestionarea hitanului [20]

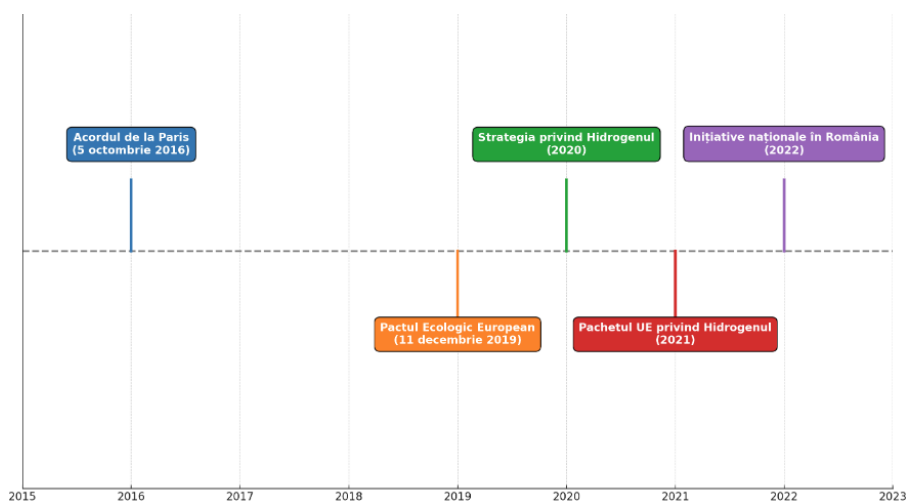


Diagrama cronologică a principalelor componente legislative și strategice legate de hidrogen la nivel european și național

- *Acordul de la Paris (2016)* - Inițiativă globală pentru combaterea schimbărilor climatice.
- *Pactul Ecologic European (2019)* - Lansat de Comisia Europeană, orientat către soluții durabile, inclusiv hidrogenul.
- *Strategia privind Hidrogenul (2020)* - Definirea obiectivelor pentru producția de hidrogen curat până în 2050.
- *Pachetul UE privind Hidrogenul (2021)* - Include legislația specifică privind piața hidrogenului și a gazelor decarbonizate.
- *Inițiativa națională în România (2022)* - Sprijinirea economiei hidrogenului prin organizații și proiecte locale.

2.3. Performanța sistemului de gaze naturale în prezența hidrogenului

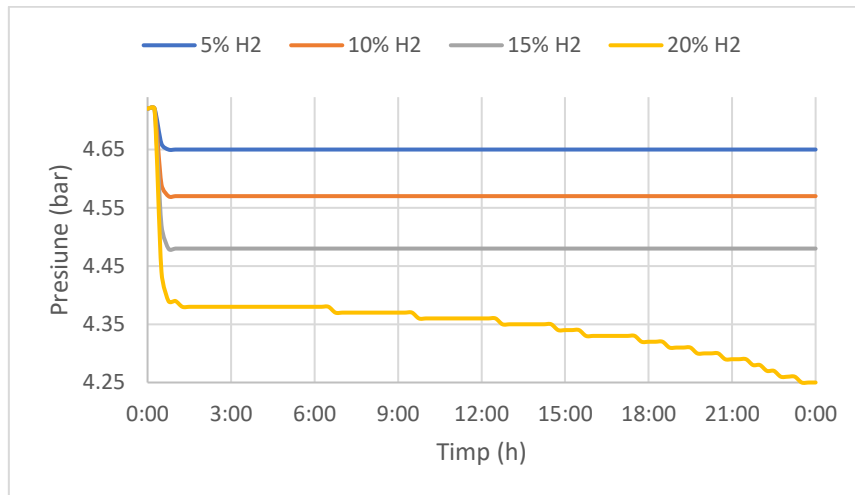
Introducerea hidrogenului în rețelele de gaze naturale nu schimbă semnificativ variabilele operaționale precum presiunea sau debitul, dar afectează caracteristicile amestecului, cum ar fi puterea calorică și densitatea.

Amestecul de hidrogen modifică proprietățile gazului, iar acest lucru necesită reglementări stricte pentru asigurarea siguranței și eficienței.

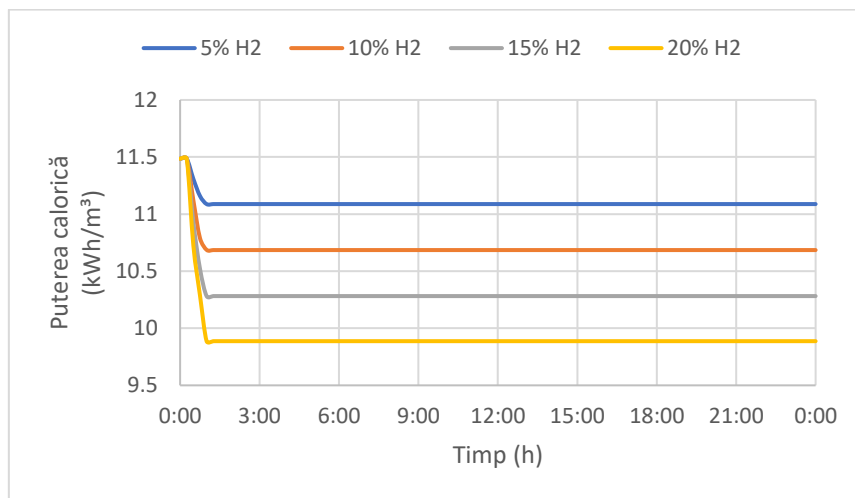
Modelele matematice pot ajuta la calcularea bilanțurilor de masă și energie, dar sunt limitate de condițiile operaționale și concentrația de hidrogen.

Analizele comportamentului fluxului de gaze în rețele sunt esențiale pentru a evita defecțiunile și pentru a determina concentrațiile sigure de hidrogen.

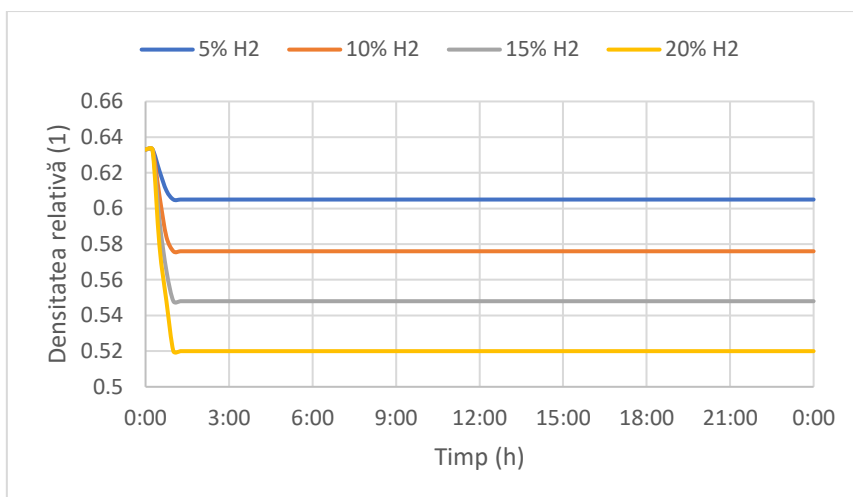
Dacă procentul de hidrogen sau debitul sunt prea mari, sistemul poate deveni dezechilibrat și poate necesita creșterea capacității. Prin urmare, este important să se adapteze sistemele existente pentru a gestiona eficient amestecurile de gaze naturale și hidrogen.



Variația presiunii la consumator pentru diferite concentrații de hidrogen în condițiile alimentării unui număr mare de consumatori cu dezechilibrarea sistemului [20]



Variația puterii calorice la consumator pentru diferite concentrații de hidrogen [20]



Variația densității amestecului de gaze la consumator pentru diferite concentrații de hidrogen [20]

3. Modelarea rețelilor de gaze naturale

3.1. Modelarea curgerii gazelor prin conducte

Modelarea curgerii gazului prin conducte implică utilizarea unor modele matematice și algoritmi pentru a simula curgerea staționară și nestaționară a gazului.

Pentru curgerea staționară, modelele se bazează pe ecuația lui Bernoulli și principiul conservării masei. Astfel, se consideră că masa gazului rămâne constantă și că procesul este izoterm, adică temperatura rămâne constantă pe lungimea conductei. De asemenea, pierderile datorate frecării sunt calculate folosind ecuația lui Darcy. Aceste ecuații sunt integrate pentru a obține relația generală a debitului de gaz.

3.2. Modelarea curgerii gazului prin rețele de distribuție

Modelarea rețelilor de gaze naturale necesită o abordare mai complexă care implică înțelegerea și aplicarea unor principii fizice și matematice esențiale.

Modelele staționare se bazează pe ecuațiile de bază ale curgerii și conservării masei, în timp ce modelele nestaționare adaugă complexitatea variabilelor de timp și necesită utilizarea metodelor numerice avansate pentru integrarea ecuațiilor diferențiale.

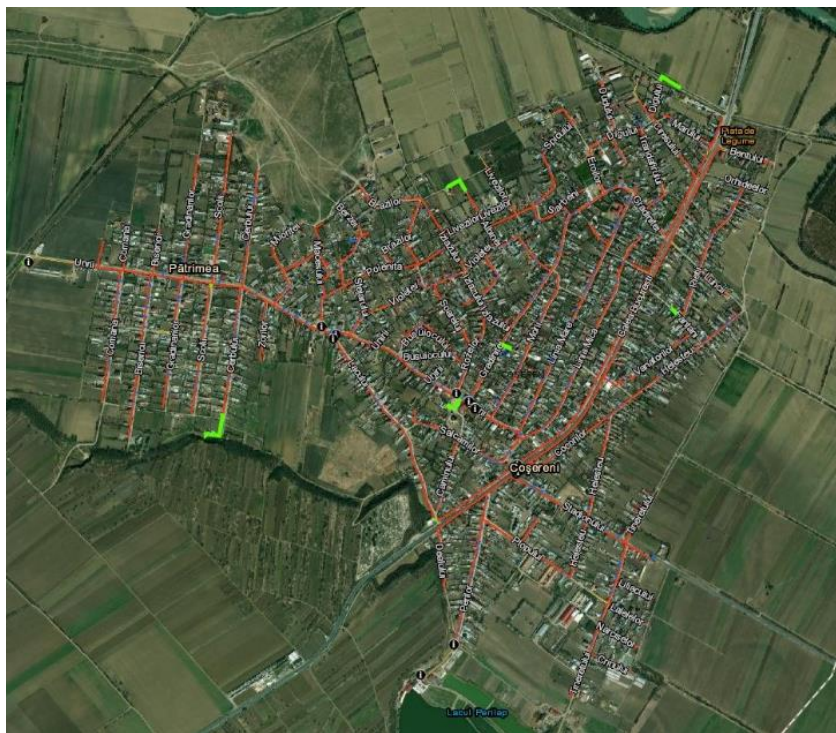
Aceste modele sunt cruciale pentru proiectarea și operarea eficientă a sistemelor de transport al gazelor naturale.

4. Prezentarea rețelei și scenariilor pentru simulare

4.1. Așezarea comunei Coșereni

Coșereni este o comună din județul Ialomița, România, compusă doar din satul de reședință cu același nume.

Comuna ocupă o suprafață de 34.37 km² și, conform recensământului din 2021, are o populație de 4195 de locuitori.



Așezarea comunei Coșereni și rețeaua de distribuție gaze naturale [77]

4.2. Prezentarea rețelei de distribuție gaze naturale

Rețeaua este constituită din conducte însumând o lungime totală de aproximativ 35 km și aproximativ 850 bransamente.

Rețeaua prezintă un singur punct de alimentare, iar presiunea de operare este MP 3 bar.

Consumatorii fac parte în mare parte din categoria rezidenți cu excepția câtorva societăți locale.



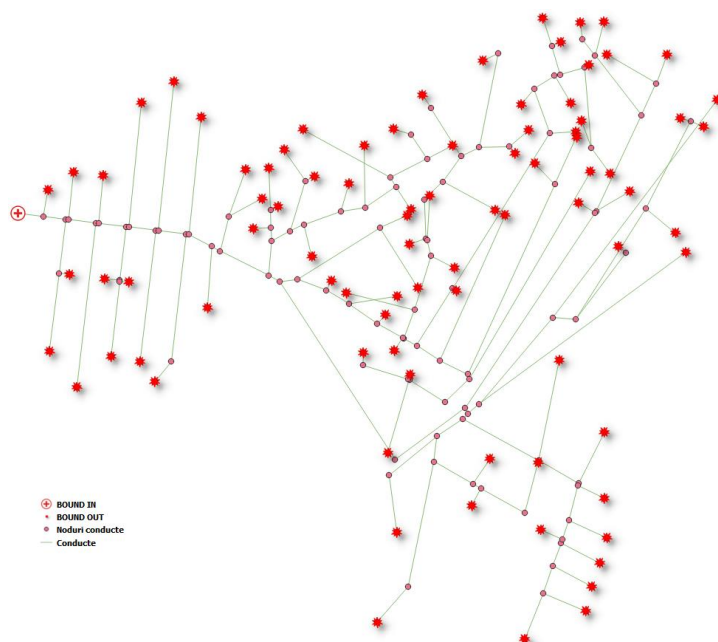
Reprezentare schematică a rețelei de distribuție gaze naturale [77]

4.3. Prezentarea datelor pentru simulare

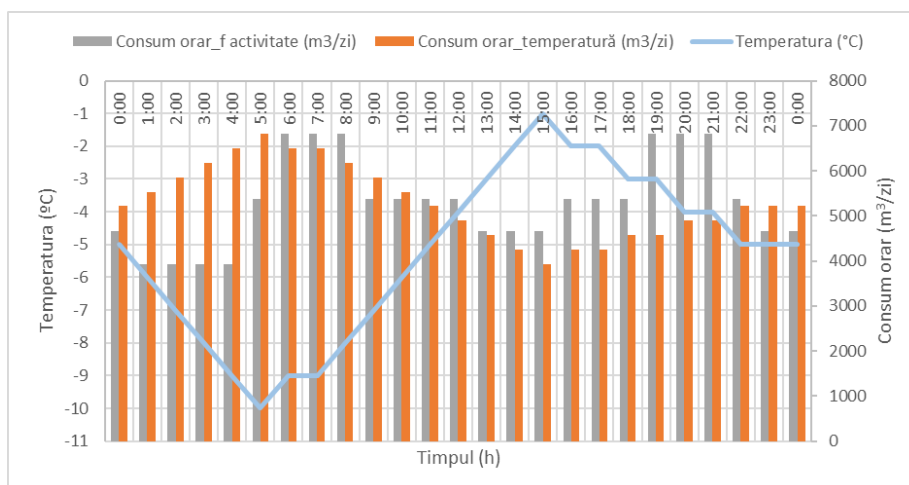
Pentru simplificarea simulării, s-au impus următoarele ipoteze:

- neglijarea variației densității cu presiunea în condiții izoterme ($T=283.15\text{ K} = 10^{\circ}\text{C}$);
- pierderile singulare de presiune în joncțiunile conductelor și cele datorate schimbului de direcție sunt neglijate;
- în toate punctele rețelei, elevația este aceeași, așezarea fiind în zonă de câmpie;
- nodurile de consum sunt reprezentate de terminațiile rețelei, nu de fiecare bransament în parte, iar consumul pe fiecare nod terminal este considerat similar întrucât toți consumatorii sunt din categoria rezidenți sau mici consumatori comerciali.

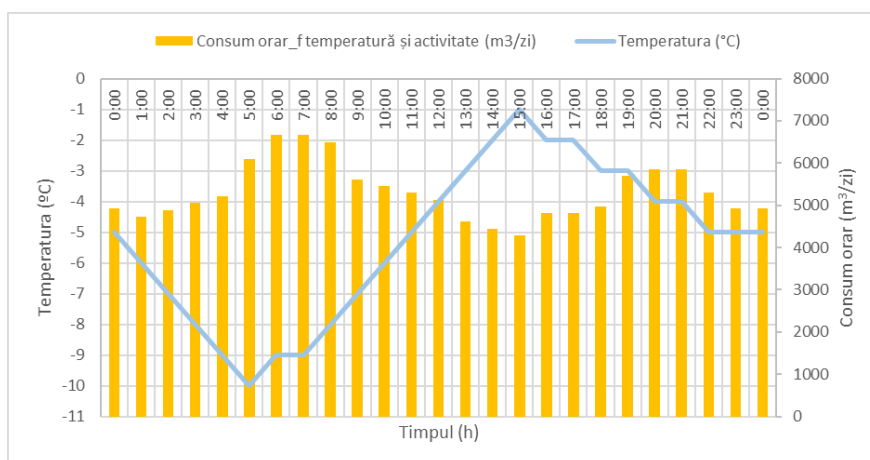
Rețeaua simulată este alcătuită din 184 de conducte însumând 32.47 km, 185 de noduri, dintre care 1 nod de alimentare, 86 noduri de consum și 98 noduri de legătură între conducte. Conductele au diametre de la 125 mm pe arterele principale până la 40 mm pe zonele terminale.



Reprezentare schematică a rețelei simplificate



Profil de consum inițial



Profil de consum funcție de temperatură și activitate

4.4. Prezentarea scenariilor pentru simulare

Pentru a construi scenariile, s-a pornit de la compoziția gazelor indicată în buletinul cromatografic.

Scenariile create pentru simulare iau în considerare diverse variante de concentrații de hidrogen adăugate în rețea.

Primele cinci scenarii, care implică concentrații de hidrogen de până la 20%, au prezentat rezultate pozitive în studiile realizate în alte lucrări.

Ultimele două scenarii pentru concentrații de 50% și 100% hidrogen, sunt concepute pentru a testa limitele operaționale ale rețelei și pentru a verifica, la nivel teoretic, dacă aceasta poate gestiona cantități mari de hidrogen.

Scenariile pentru simulare

Component	Scenariul 1 (%)	Scenariul 2 (%)	Scenariul 3 (%)	Scenariul 4 (%)	Scenariul 5 (%)	Scenariul 6 (%)	Scenariul 7 (%)
Metan	96.1971	91.3873	86.5774	81.7676	76.9577	48.0986	0
Etan	1.6507	1.5682	1.4857	1.4031	1.3206	0.8254	0
Propan	0.6656	0.6324	0.5991	0.5658	0.5325	0.3328	0
iso-Butan	0.1654	0.1572	0.1489	0.1406	0.1324	0.0827	0
n-Butan	0.2272	0.2159	0.2045	0.1932	0.1818	0.1136	0
iso-Pentan	0.0964	0.0916	0.0868	0.082	0.0772	0.0482	0
n-Pentan	0.0734	0.0698	0.0661	0.0624	0.0588	0.0367	0
n-Hexan	0.1466	0.1393	0.132	0.1247	0.1173	0.0733	0
Dioxid de carbon	0.4736	0.45	0.4263	0.4026	0.3789	0.2368	0
Azot	0.304	0.2888	0.2736	0.2584	0.2432	0.152	0
Hidrogen	0	5	10	15	20	50	100
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100

5. Analiza dinamicii rețelei și prezentarea rezultatelor

În acest capitol sunt prezentate rezultatele simulării dinamice realizate pentru rețeaua de distribuție de gaze naturale din localitatea Coșereni, având în vedere diferite scenarii de amestec de hidrogen și gaze naturale.

Simularea a fost realizată pe o perioadă de 24 de ore, respectând profilul de consum.

Scopul este de a observa comportamentul rețelei și capacitatea acesteia de a gestiona diferite concentrații de hidrogen, menținând totodată funcționarea în limitele de siguranță și eficiență.

Simulările cuprind patru studii, după cum urmează:

1. Studiul dezlocuirii gazului natural cu hidrogen
2. Determinarea debitelor necesare în funcție de reducerea puterii calorifice
3. Determinarea căderii de presiune în rețea în funcție de concentrația de hidrogen și debit
4. Determinarea consumului orar în funcție de concentrația de hidrogen

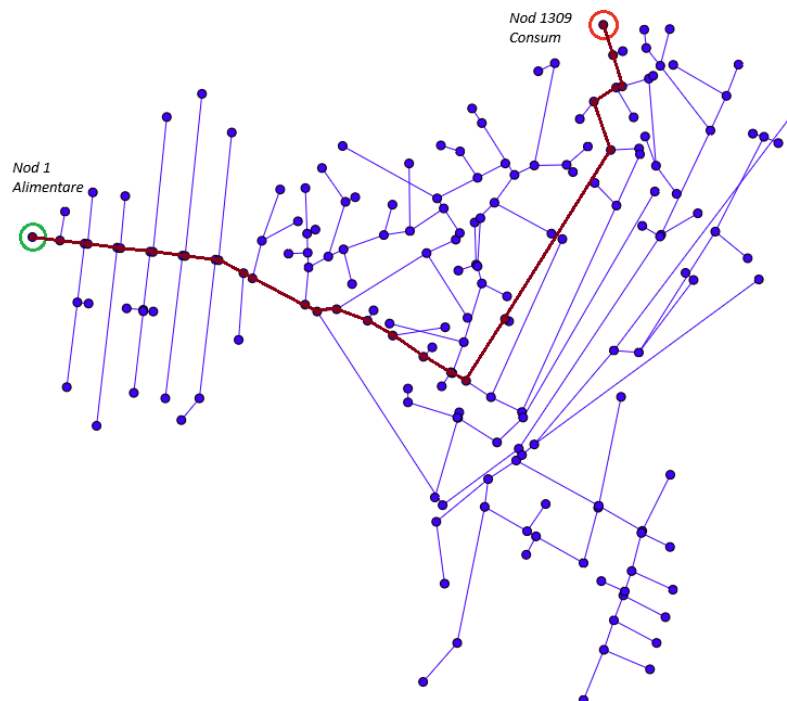
5.1. Studiul dezlocuirii gazului natural cu hidrogen

Primul studiu investighează efectele introducerii hidrogenului în rețeaua de distribuție a gazului natural, concentrându-se pe variația vitezei de curgere și a puterii calorifice.

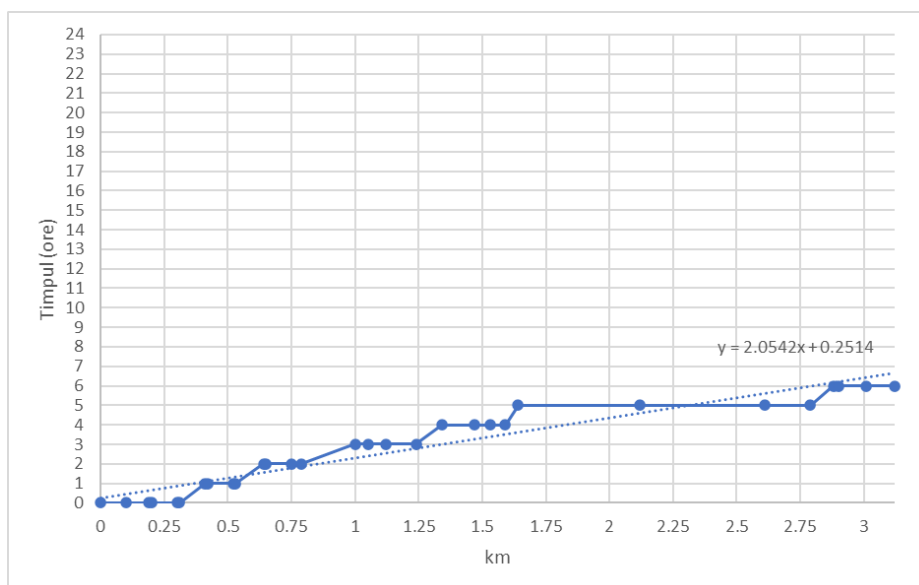
Introducerea unui procent de 5% hidrogen pe o conductă demonstrează că viteza de curgere a gazului crește proporțional cu concentrația de H_2 . Creșterea vitezei nu a prezentat riscuri majore în rețeaua ce operează la presiuni medii sau reduse, până la concentrații de H_2 de 50%.

Reducerea PCS-ului odată cu creșterea procentului de hidrogen necesită atenție, deoarece poate scădea presiunea sistemului sub nivelul necesar pentru a asigura echilibrarea rețelei. Pentru menținerea puterii calorifice, este nevoie de creșterea volumului de gaz proporțional cu procentul de hidrogen.

Analiza amestecului de hidrogen în rețea, de la punctul de alimentare la nodul de consum cu presiunea cea mai scăzută, arată faptul că timpul necesar pentru finalizarea amestecului este de șase ore, în mod independent de concentrația de H_2 .



Traseul de conducte în rețea de la punctul de alimentare (nod 1) la consumatorul îndepărtat (nod 1309) cu presiunea minimă din rețea



Analiza dezlucirii gazului natural cu 5% H₂ de la punctul de alimentare (nod 1) la consumatorul îndepărtat (nod 1309) cu presiunea minimă din rețea

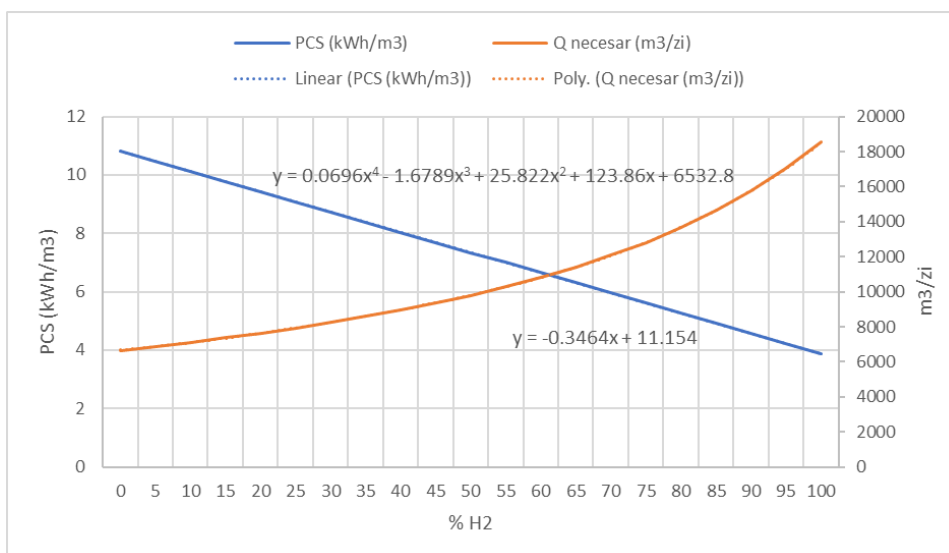
5.2. Determinarea debitelor necesare în funcție de reducerea puterii calorifice

Al doilea studiu a avut drept scop determinarea debitelor necesare în funcție de reducerea puterii calorifice. Studiul a arătat că introducerea hidrogenului în sistemele de gaze naturale necesită o creștere a debitului furnizat pentru a menține același nivel energetic.

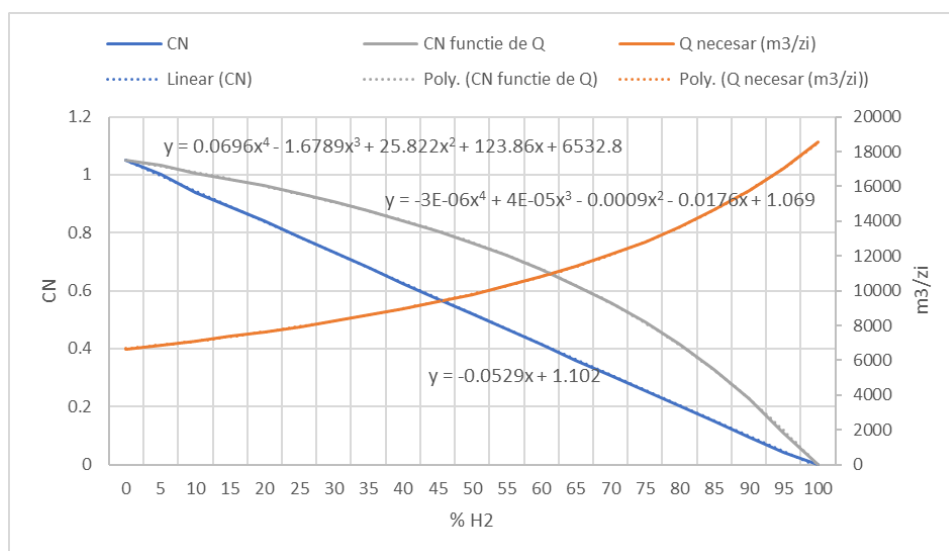
Analiza PCS-ului în funcție de procentul de hidrogen (de la 0% până la 100%) demonstrează o scădere progresivă a PCS-ului odată cu creșterea concentrației de hidrogen. Acest lucru implică o necesitate crescută de volum pentru a acoperi aceeași cerere energetică, fapt evidențiat prin calculele volumelor necesare zilnice.

Pentru a menține valoarea energetică zilnică necesară, debitul necesar va crește semnificativ pe măsură ce procentul de hidrogen este mai mare, ajungând la un necesar de volum suplimentar de aproape 178.5% la cazul cu 100% hidrogen.

Constatările sugerează că, la valori ridicate de hidrogen (peste 50%), volumul necesar de gaz crește substanțial, implicând provocări semnificative în gestionarea rețelelor de distribuție a gazelor.



Variația debitului necesar și a puterii calorifice superioare (PCS) în funcție de concentrația de H₂ – varianta extinsă



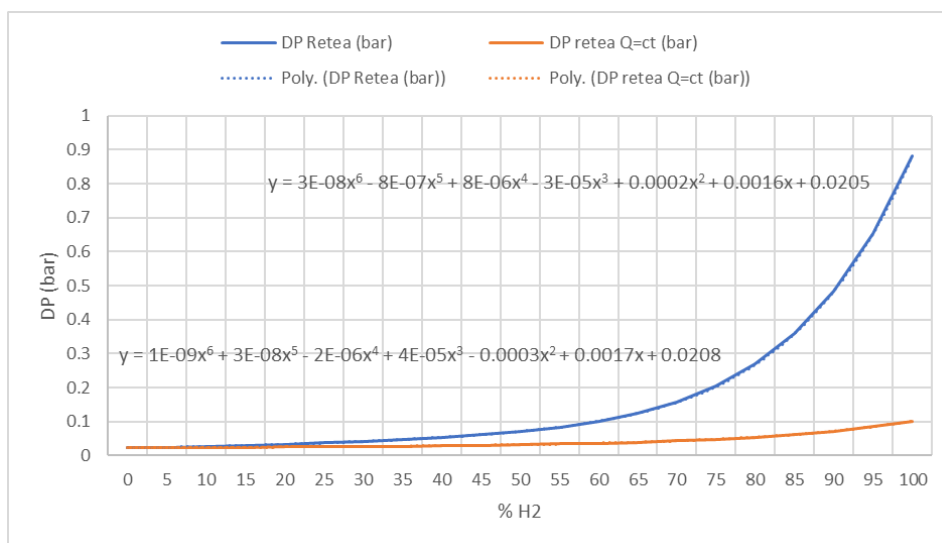
Variația debitului necesar și a numărului de carbon (CN) în funcție de concentrația de H₂ – varianta extinsă

5.3. Determinarea căderii de presiune în rețea în funcție de concentrația de hidrogen și debit

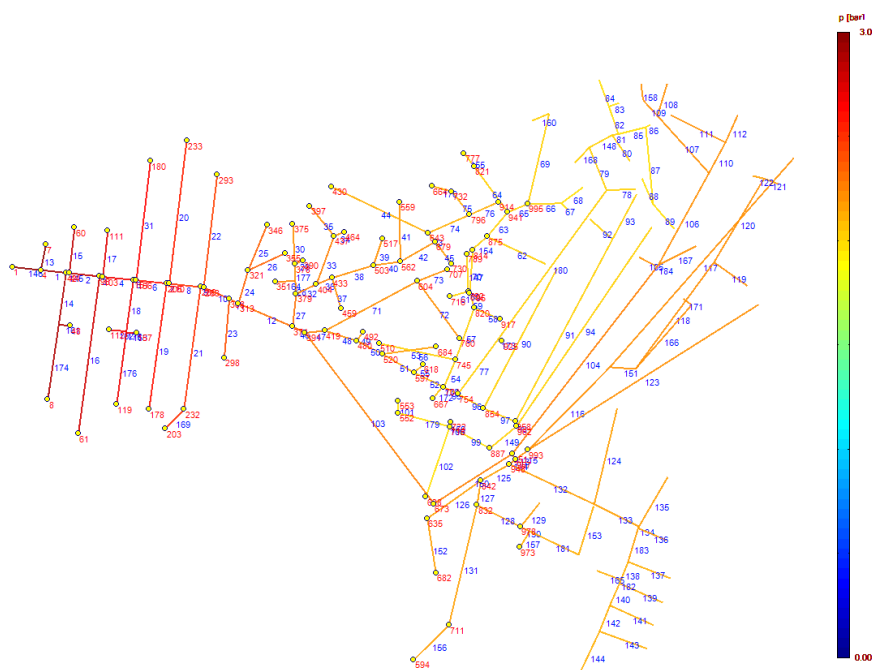
Studiul al treilea, arată că, pe măsură ce crește procentul de hidrogen în amestecul de gaze, căderea de presiune se intensifică. Aceasta este datorată frecărilor interne în conducte, care se accentuează la volume mai mari de consum generate de adaosul de hidrogen.

În urma simulărilor, s-a identificat nodul din rețea cu presiunea minimă și s-a determinat căderea maximă de presiune în funcție de concentrația de hidrogen. Rezultatele arată că la concentrații scăzute, până la moderate de hidrogen (0% - 20%), căderea de presiune are o variație aproape liniară. Totuși, la concentrații mai ridicate (peste 50%), căderea de presiune crește exponențial.

Totuși, chiar și la concentrația de 100% hidrogen, căderea de presiune maximă fiind de aproximativ 1 bar de la presiunea de intrare de 3 bar, rețeaua de distribuție rămâne echilibrată și capabilă să satisfacă cererea în condiții extreme, cum ar fi vârful de consum din ziua cea mai friguroasă a anului.



Variația căderii de presiune în rețea în funcție de concentrația de H₂ – varianta extinsă

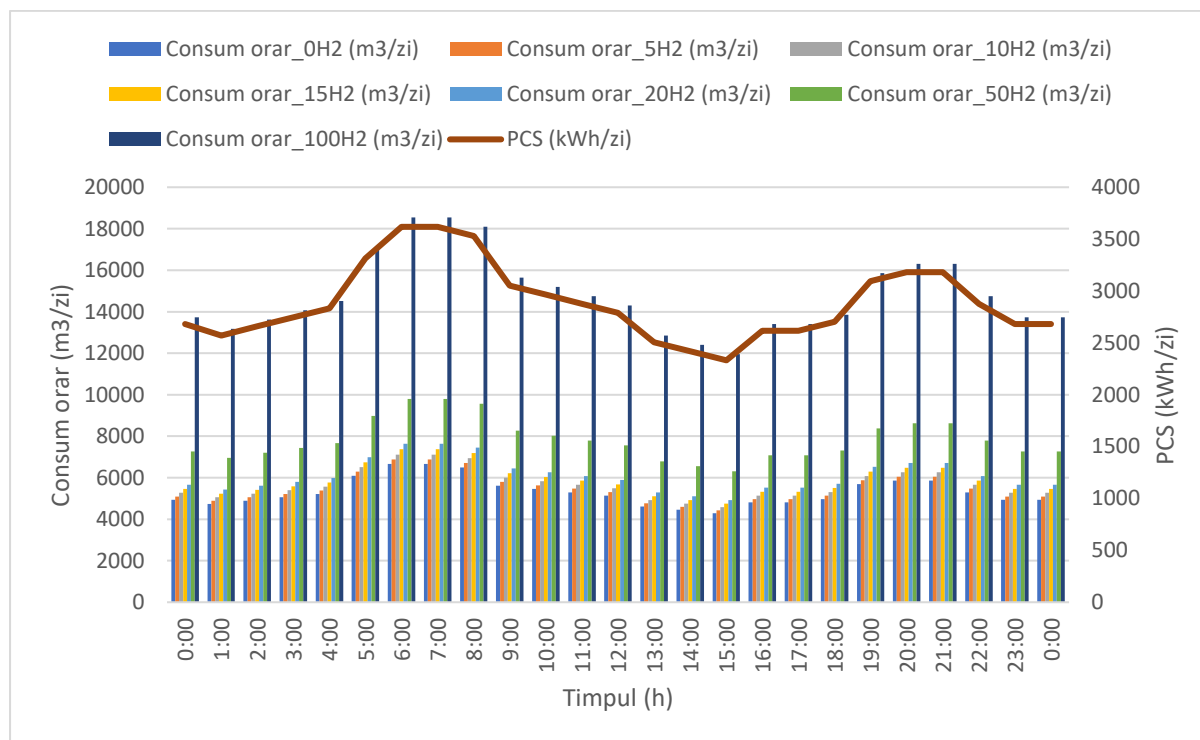


Distribuția presiunii în rețea pentru 100% H₂

5.4. Determinarea consumului orar în funcție de concentrația de hidrogen

Rezultatele obținute în urma simulărilor rulate indică faptul că pentru a livra aceeași putere calorică consumatorilor, prin adăugarea de hidrogen în sistem, sunt necesare volume suplimentare. Volumul suplimentar reprezentând 15% pentru cazul cu 20% H₂, 47% pentru 50% H₂, iar pentru hidrogen pur, 178% (tabel anterior).

Plecând de la profilul de consum inițial pentru distribuția gazelor naturale, utilizând debitele necesare funcție de concentrația de hidrogen, s-a determinat profilul de consum final pentru fiecare scenariu rulat (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 50% și 100% H₂).



Profilul de consum final în funcție de concentrația de hidrogen

Concluzii finale, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare

Concluzii finale

Gazele naturale vor continua să fie o resursă energetică esențială în următorii ani, datorită avantajelor precum emisii reduse de carbon, rezerve promițătoare și infrastructura eficientă.

În România, sistemele de distribuție necesită modernizări pentru a fi pregătite pentru integrarea hidrogenului.

Hidrogenul poate fi amestecat cu gazul natural în rețelele existente, dar trebuie realizate reglementări în acest sens pentru a asigura siguranța și eficiența.

Totuși, la concentrații mai mari de hidrogen, infrastructura actuală ar necesita adaptări. Studiile și simulările indică faptul că, la o concentrație de peste 20% hidrogen, dificultățile cresc exponențial.

În concluzie, gazele naturale rămân o resursă cheie, dar tranziția către o piață a hidrogenului necesită investiții în infrastructuri și reglementări clare.

Contribuții personale

În această lucrare de cercetare au fost abordate o multitudine de subiecte, referitoare la situația energetică actuală, necesitatea tranziției la surse alternative de energie, utilizarea hidrogenului în rețelele de conducte, împreună cu posibilele scenarii dar și riscurile și dificultățile aferente.

Toate acestea au fost aliniate în urma unui studiu amplu, datele fiind preluate din diferite surse, iar în baza rezultatelor obținute au putut fi formulate diferite concluzii și recomandări.

Totodată, rezultatele obținute de diferiți autori în ceea ce privește mișcarea nestaționară a gazelor naturale în amestec cu hidrogen prin conducte, au fost confruntate cu rezultate obținute experimental în această lucrare, utilizând metode numerice avansate, cu date din teren. O mare parte dintre aceste rezultate sunt similare cu cele obținute în diferite studii, însă, discutând strict despre modelarea gazelor naturale în amestec cu hidrogenul pe o rețea de distribuție gaze naturale, rezultatele obținute sunt prezentate într-un mod clar și complex.

Toate analizele realizate în acest studiu pot fi de ajutor în practică în contextul implementării unei piețe de hidrogen, în care, acesta să joace rol de substituent al gazelor naturale și să fie introdus în rețelele de distribuție.

Direcții viitoare de cercetare

1. Gazele naturale și țițeiul sunt resurse energetice esențiale la nivel global. Statele fără rezerve suficiente de gaze, precum cele din Europa și Asia, sunt dependente de importuri din regiuni cu surplus. Aceasta impune investiții în dezvoltarea tehnologiilor pentru resurse alternative.
2. Combustibilii fosili, inclusiv gazele naturale, contribuie semnificativ la schimbările climatice prin emisiile de gaze cu efect de seră. Decarbonizarea este un obiectiv global, orientat spre tranziția către surse de energie regenerabilă.
3. Hidrogenul este un combustibil promițător pentru înlocuirea resurselor fosile, fiind clasificat în funcție de impactul asupra mediului ca verde, albastru sau gri. În prezent, hidrogenul gri este predominant datorită costurilor mai scăzute, dar cercetarea pentru tehnologii mai ecologice este esențială.
4. Integrarea hidrogenului în infrastructura actuală necesită investiții și ajustări datorită proprietăților sale unice, care implică riscuri precum fragilizarea materialelor. Cercetări suplimentare și reglementări clare sunt necesare pentru a gestiona eficient aceste provocări.
5. România are o rețea de gaze naturale bine dezvoltată, dar sunt necesare investiții în modernizare și extindere pentru a asigura independența energetică și eficiența sistemului, mai ales în contextul unor potențiale vârfuri de consum.
6. Simularea numerică a rețelei de distribuție a arătat că, din punct de vedere hidraulic, amestecul de hidrogen poate fi gestionat în diverse concentrații. Totuși, implementarea practică necesită analize suplimentare privind infrastructura și particularitățile fiecărei rețele.

Bibliografie

- [1] <https://odi.org/en/about/our-work/climate-and-sustainability/faq-3-oil-and-gas-poverty-the-environment-and-human-rights/> - accesat: 08.07.2024
- [2] <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution> - accesat: 08.07.2024
- [3] <https://ourworldindata.org/grapher/years-of-fossil-fuel-reserves-left> - accesat: 08.07.2024
- [4] <https://ourworldindata.org/grapher/oil-proved-reserves> - accesat: 08.07.2024
- [5] <https://ourworldindata.org/grapher/natural-gas-proved-reserves> - accesat: 08.07.2024
- [6] <https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-consumption-by-region> - accesat: 08.07.2024
- [7] Massimiliano Caporin, Fulvio Fontin, The Long-Run Oil-Natural Gas Price Relationship and the Shale Gas Revolution, 2016, Energy Economic - <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.07.024>
- [8] <https://ourworldindata.org/grapher/natural-gas-prices> - accesat: 13.07.2024
- [9] <https://fred.stlouisfed.org/series/PNGASEUUSDM> Copyright © 2016, International Monetary Fund. Reprinted with permission. Complete terms of use and contact details are available at <http://www.imf.org/external/terms.htm>
- [10] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/natural-gas-prices-in-europe-asia-and-the-united-states-jan-2020-february-2022> - accesat: 08.07.2024
- [11] Alexandre Szklo, Roberto Schaeffer, „Alternative energy sources or integrated alternative energy systems? Oil as a modern lance of Peleus for the energy transition”, Elsevier Ltd, 2005. p1-p4
- [12] https://www.ey.com/ro_ro/energy-reimagined/oportunitati-si-riscuri-pentru-independenta-energetica - accesat: 08.07.2024
- [13] Ioan Iordache, Dumitru Chisăliță, „Hidrogen și gaze naturale în România”; Editura Didactică și Pedagogică S.A., București, 2022
- [14] Tudor Prisecaru, „Raport privind situația actuală pe plan mondial și în România legată de dezvoltarea tehnologiilor pe bază de hidrogen”
- [15] Giovanni Di Lullo, Abayomi Olufemi Oni, Amit Kumar, „Blending blue hydrogen with natural gas for direct consumption: Examining the effect of hydrogen concentration on transportation and well-to-combustion greenhouse gas emissions”, University of Alberta, Edmonton, Alberta, T6G 1H9, Canada, 2021; <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.062>
- [16] <https://www.juridice.ro/735363/productia-hidrogenului-verde-in-romania-analiza-legislatiei-relevante.html> - accesat: 28.11.2022
- [17] F. Oney, T. N. Veziroglu, Z. Dulger, „Evaluation of pipeline transportation of hydrogen and natural gas mixtures”, 1993, p1-p2

- [18] Ali Ekhtiari, Damian Flynn, Eoin Syron, „Investigation of the Multi-Point Injection of Green Hydrogen from Curtailed Renewable Power into a Gas Network”, 2020; <https://doi.org/10.3390/en13226047>
- [19] <https://www.forbes.ro/va-deveni-romania-un-producator-european-de-hidrogen-224827> - accesat: 08.07.2024
- [20] B.A. Ionete, M. Albulescu, S. Gal, A. Damascan, „A numerical simulation to determine the behavior of the hydrogen – natural gas mixture in distribution networks”, *Romanian Journal of Petroleum & Gas Technology*, VOL. V (LXXVI) No. 2/2024, DOI: 10.51865/JPGT.2024.02.03
- [21] <https://www.energynomics.ro/cms-proiecte-pe-baza-de-hidrogen-in-romania/> - accesat: 27.11.2022
- [22] Maisonnier G, Perrin J, Steinberger-Wilckens R. PLANET GbR. European hydrogen infrastructure atlas and industrial excess hydrogen analysis, Part II industrial surplus hydrogen, markets and production. Roads2HyCom; 2007 March. DELIVERABLE 2.1 and 2.1a. Document Number: R2H2006PU.1.
- [23] Neacsu, A.; Muresan, J.D.; Voica, M.C.; Manta, O.; Ivan, M.V. Oil Price—A Sensor for the Performance of Romanian Oil Manufacturing Companies. *Energies* 2023, 16, 2336. [CrossRef]
- [24] Moghadam Dezfooli, A.; Saffarian, M.R.; Behbahani-Nejad, M.; Changizian, M. Experimental and numerical investigation on development of a method for measuring the rate of natural gas leakage. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2022, 104, 104643. [CrossRef]
- [25] Yang, Y.; Fan, J.; Wu, S.; Liu, D.; Ma, F. Multi-acoustic-wave-feature-based method for detection and quantification of downhole tubing leakage. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2022, 102, 104582. [CrossRef]
- [26] Hormaza Mejia, N.A.; Brouwer, J. Gaseous Fuel Leakage From Natural Gas Infrastructure. In *Proceedings of the ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Pittsburgh, PA, USA, 9–15 November 2018
- [27] Adrian Neacsu, Cristian Nicolae Eparu, Cașen Panaitescu, Doru Bogdan Stoica, Bogdan Andrei Ionete, Alina Prundurel, Sorin Gal; „Hydrogen–Natural Gas Mix—A Viable Perspective for Environment and Society”; *Energies* 2023; <https://doi.org/10.3390/en16155751>
- [28] <https://blog.pwc.ro/2021/06/14/tranzitia-energetica-cererea-pentru-hidrogen-verde-va-accelera-din-2035-dar-productia-si-preturile-raman-o-provocare-unde-se-gaseste-romania-in-aceasta-ecuatie/> - accesat: 08.07.2024
- [29] „Encyclopedic entry. Natural gas is a fossil fuel formed from the remains of plants and animals. Other fossil fuels include oil and coal”; <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/natural-gas/> – accesat: 05.09.2021 / 22:00
- [30] Joel A.Tarr, „Manufactured Gas, History of”, *Encyclopedia of Energy* 2004 (Capitolul 4 - „The Transition to Natural Gas, 1927–1954”) <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00542-8>

- [31] Cristian Eparu, „Managementul sistemelor de distribuție gaze naturale”, Editura UPG Ploiești, 2019
- [32] „Codul rețelei pentru sistemul național de transport al gazelor naturale”, aprobat prin Ordinul președintelui ANRE nr.16/2013 publicat în MONITORUL OFICIAL
- [33] Thomas N. Russo, „Hydrogen: Hype or a glide path to decarbonizing natural gas – part 2”
- [34] Green Hydrogen in Natural Gas Pipelines: Decarbonization Solution or Pipe Dream?”; <https://www.greentechmedia.com/articles/read/green-hydrogen-in-natural-gas-pipelines-decarbonization-solution-or-pipe-dream> – accesat: 06.09.2021 / 20:00
- [35] The Netherlands to refit natural gas network for pure hydrogen”; <https://cleanenergynews.ihsmarkit.com/research-analysis/the-netherlands-to-refit-borderstraddling-natural-gas-grid-for.html> – accesat: 05.04.2022 / 19:30
- [36] Daniel Muthmann, „European Hydrogen Backbone”, Madrid Forum – 14 Oct 2020
- [37] <https://newsenergy.ro/transgaz-a-devenit-membru-al-european-hydrogen-backbone/> – 23.05.2022 / 23:15
- [38] „Hydrogen Transportation Pipelines”, IGC Doc 121/04/E; EIGA 2004
- [39] „Hydrogen transport through PE100 pipes - H2 research and developments for PE100+ Association”; <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/news/Hydrogen-transport-through-PE100-pipes-i2325.html> – accesat: 19.03.2022 / 19:30
- [40] Zahreddine Hafsi, Manoranjan Mishra, Sami Elaoud, „Hydrogen embrittlement of steel pipelines during transients”, 2018; <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.035>
- [41] G.Gabetta, F.Pagliari, N.Rezgui, „Hydrogen Embrittlement in pipelines transporting sour hydrocarbons”, 2018; <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.124>
- [42] Harmen de Vries, Anatoli V. Mokhov, Howard B. Levinsky; „The impact of natural gas/hydrogen mixtures on the performance of end-use equipment: Interchangeability analysis for domestic appliances”; Netherlands, 2017 – <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.049> - pg.2-3
- [43] M.Backman, „Transport of hydrogen with polyethylene natural gas pipes PE”; 2010 Vancouver; <https://www.pe100plus.com/PPCA/Transport-of-hydrogen-with-polyethylene-natural-gas-pipes-p433.html> – accesat: 20.03.2022 / 16:45
- [44] Jacek Jaworski, Paweł Kułaga, Tomasz Blacharski, „Study of the Effect of Addition of Hydrogen to Natural Gas on Diaphragm Gas Meters” – 2020; doi:10.3390/en13113006 – p16
- [45] Sami Elaoud, Zahreddine Hafsi, Lamjed Hadj-Taieb, „Numerical modelling of hydrogen-natural gas mixtures flows in looped networks”, Journal of Petroleum Science and Engineering, 2017; <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.09.063>
- [46] <https://www.juridice.ro/775374/hidrogenul-verde-in-romania-cu-gandul-la-viitor.html> - accesat: 28.11.2022
- [47] <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/romania> - accesat 28.11.2022

- [48] F. Tabkhi, C. Azzaro-Pantel*, L. Pibouleau, S. Domenech, „A mathematical framework for modelling and evaluating natural gas pipeline networks under hydrogen injection”, International journal of hydrogen energy, 2008; <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.07.103>
- [49] Zahreddine Hafsi, Sami Elaoud, Manoranjan Mishra, „A computational modelling of natural gas flow in looped network: effect of upstream hydrogen injection on the structural integrity of gas pipelines”, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2019; <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2019.01.021>
- [50] Andrzej Osiadacz - Simulation and analysis of gas networks, Publisher Houston, TX : Gulf Pub. Co., 1987.
- [51] C. Eparu – Managementul sistemelor de distribuție gaze naturale, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, ISBN 978-973-719-775-7, Ploiești, 2019
- [52] C. Eparu, S. Neacșu, D.B. Stoica - 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, ISBN: 978-0-9860419-0-7, 27-28 iunie 2013, Viena, p.735-747
- [53] C. Trifan - Distribuția gazelor naturale prin rețele de conducte. Ploiești: Editura UPG, 2005
- [54] C. Trifan, M. Albulescu, S. Neacșu - Elemente de mecanica fluidelor și termodinamică tehnică, Editura Universității din Ploiești, 2005
- [55] D.B. Stoica, C. Eparu - Starting Big Natural Gas Consumers in Safe Conditions for the Transport Network, Proceedings of the 1st International Conference on Power and Energy Systems (POES '13) Recent Researches in Electric Power and Energy Systems, ISSN: 1790-5117, ISBN: 978-960-474-328-5, August 27-29, Chania, Crete Island, Greece, p. 289-297
- [56] D.B. Stoica, C. Eparu, R. Rădulescu - The dynamic simulation of the natural gas transportation, Analele Universității Ovidius din Constanța, 2013, Seria Chimie 24 (2), 83
- [57] D.B. Stoica, C. Eparu, S. Neacsu- The use of numerical simulators to determine the daily balance of the natural gas distribution network, Journal of Eastern Europe Research in Business & Economics, 2013
- [58] D.B. Stoica, Cristian Eparu, Sorin Neacșu - Balancing of distribution networks using the SIMONE software, SIMONE Congress, octombrie 2014, Portugalia
- [59] D.B. Stoica, Cristian Eparu, Sorin Neacșu, Luminița Popescu - Operating Platform for Transmission Systems Built with a MapEdit Interface and SIMONE Software as the Calculation Engine, SIMONE Congress, octombrie 2014, Portugalia
- [60] D.B. Stoica, Neacsu Sorin, Eparu Cristian, Victor Cristolovean - A Simplified Method to Calculate the Hydraulic Loss Coefficient in Transport Networks, BALKANTRIB'14, 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRIBOLOGY, 30th October - 1st November 2014, SINAIA, ROMANIA, volume I, 2014

- [61] D.B. Stoica, Sorin Neacsu, Silvian Suditu, - Considerations on transport capacity of natural gas pipelines and its limits, ANALELE STIINTIFICE ALE UNIVERSITATII OVIDIUS CONSTANTA-SERIA MATEMATICA, 2013
- [62] E. Shashi Menon - Gas Pipeline Hydraulics, Publisher CRC Press; 1st edition (May 24, 2005)
- [63] F. Dinu – Extracția și Prelucrarea Gazelor Naturale, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, ISBN 978-973-719-517-3, 2013
- [64] Gunther Ruhe - Algorithmic Aspects of Flows in Networks, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1991
- [65] I. Gheorghe, Ș. I. - Industria de petrol și gaze din România. București: Editura AGIR, 2008
- [66] Karen Schou Pedersen, Peter L. Christensen, Jawad Azeem Shaikh - Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids, Publisher CRC Press; 1st edition (November 1, 2006)
- [67] L.R. Ford Jr. - Flows in Networks, Published by Princeton University Press, October 21st 2010
- [68] M. Albulescu, C. Trifan - Hidraulica, transportul și depozitarea produselor petroliere și gazelor, Editura Tehnică, București, 1999
- [69] Maarten van Steen - Graph Theory and Complex Networks: An Introduction, Published by Maarten van Steen, 2010
- [70] Mokhatab S., P. W. (2006). Handbook of natural gas transmission and processing. Burlington: Elsevier.
- [71] Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis, Hanif D. Sherali - Linear Programming and Network Flows, 4th Edition, Publisher Wiley; 4th edition (December 14, 2009)
- [72] Penn State's John A. Dutton e-Education Institute – Course - Phase Relations in Reservoir engineering (<https://www.e-education.psu.edu/png520/resources/11.html>)
- [73] S. Neacsu, C. Eparu, Solutions to Operate Transmission and Distribution Gas Networks, 8th International Conference on Manufacturing Science and Education – MSE 2017 “Trends în New Industrial Revolution”, June 7-9, 2017, Sibiu, Romania, Book Series: MATEC Web of Conferences Volume: 121, Article Number: UNSP 09006, DOI: 10.1051/mateconf/201712109006
- [74] The Hartford steam boiler inspection and insurance company - Natural gas transmission pipelines, Pipeline integrity; prevention, detection & mitigation practices, Topical report, Gas Research Institute, Pipeline Business Unit, dec. 2000
- [75] W. Lyons - Petroleum and natural gas production engineering. Burlington: Elsevier, 2010
- [76] https://ro.wikipedia.org/wiki/Co%C8%99ereni,_Ialomi%C8%9Ba - accesat: 08.07.2024
- [77] Date furnizate de operatorul de distribuție gaze naturale „Megaconstruct” în data de 15.05.2023