

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
R E C T O R A T U L

Către

Vă facem cunoscut că, în ziua de **27.09.2024** la ora **10:00** în **Sala de Consiliu a Facultății de Construcții de Mașini și Management Industrial**, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**“CONTRIBUȚII PRIVIND PROIECTAREA ROBINETELOR CU SFERĂ
UTILIZATE ÎN INDUSTRIA ENERGETICĂ”**

elaborate de domnul **ING. IVANCU LAURENȚIU-IOAN** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|--|------------------------|
| 1. Conf. univ. dr. ing. Florin Negoescu
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | președinte |
| 2. Prof. univ. dr. ing. Daniela Popescu
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | conducător de doctorat |
| 3. Prof. univ. dr. ing. Carmen Anca Safta
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „Politehnica” din București | referent oficial |
| 4. Prof. univ. dr. ing. Horia Necula
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie „Politehnica” din București | referent oficial |
| 5. Prof. univ. dr. ing. Mihăiță Horodincă
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | referent oficial |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR,
Prof. univ. dr. ing Dan Cașcaval

Secretar universitate
ing. Cristina Nagâț

Cuprinsul rezumatului

Introducere	3
Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor	4
1.1. Importanța și actualitatea studiului robinetelor	4
1.2. Stadiul actual al cercetărilor privind robinetele de închidere cu sferă	5
Capitolul II. Contribuții privind metodologia de proiectare a robinetelor cu sferă	7
2.1. Prezentarea principalelor părți componente ale unui robinet sferic	7
2.2. Algoritm de proiectare a robinetelor cu sferă	7
2.2.1 Organul de obturare: sfera	9
2.2.2. Alegerea tipului de etanșare al sferei cu scaunul	10
2.2.3. Stabilirea procedurii de proiectare în funcție de diametrul nominal al robinetului	11
2.2.4. Dimensionarea corpului principal	11
2.2.5. Dimensionarea corpului secundar	11
2.2.6. Dimensionarea tijei de acționare	11
2.2.7. Dimensionarea piesei de legătură între corpul principal și flanșa pentru acționare	12
2.2.8. Dimensionarea plăcii de ghidare	12
Capitolul III. Contribuții privind simularea curgerii în robinete cu sferă și analiza numerică a rezultatelor	12
3.1. Stadiul actual al cercetărilor privind simularea curgerii în robinetele cu sferă	12
3.2. Analiza curgerii într-un robinet cu sferă DN500 cu etanșare metal-metal utilizând SolidWorks	13
3.2.1. Considerații privind importanța studierii unui robinet cu sferă de diametru mare	13
3.2.2. Metoda de lucru	13
3.2.3. Studiu de caz: unghiul de deschidere 60°	14
3.2.4. Studiu de caz: unghiul de deschidere de 45°	14
3.2.5. Studiu de caz: unghiul de deschidere 30°	15
3.2.6. Studiu de caz: unghiul de deschidere 20°	16
3.2.7. Studiu de caz: robinet complet închis	16
3.2.8. Concluzii privind analiza robinetului DN500 cu programul SolidWorks	17
3.3. Analiza curgerii în robinete cu sferă prevăzute cu etanșare din materiale elastice utilizând ANSYS Fluent	17
3.3.1. Metodologie	18
3.3.2. Analiza curgerii într-un robinet cu sferă DN400 la presiunea nominală de 10MPa	18
3.3.3. Analiza robinetului DN50 cu presiunea nominală de 10MPa	19
3.4. Concluzii privind simulările numerice	21
Capitolul IV. Rezultate experimentale privind comportarea unui robinet cu sferă DN80 la deschideri mici	21
4.1. Prezentarea generală a standului experimental	21
4.2. Prezentarea elementelor componente principale ale standului experimental	22
4.3. Prezentarea metodei de lucru aplicate în studiul comportării unui robinet cu sferă DN80, la unghiuri mici de deschidere	23
4.4. Rezultate experimentale	23
4.4.1. Variația debitului în funcție de unghiul de deschidere la presiunea $p \approx 9$ bar	23

4.4.2. Variația debitului în funcție de gradul de deschidere al robinetului la presiunea $p \approx 6$ bar	25
4.4.3. Variația debitului în funcție de gradul de deschidere al robinetului la presiunea $p \approx 4$ bar	26
4.4.4. Variația debitului în funcție de gradul de deschidere al robinetului la presiunea $p \approx 2$ bar	26
4.5. Concluzii privind caracteristica robinetului cu sferă la unghiuri mici de deschidere	27
Capitolul V. Soluție inovativă de reducere a momentului de acționare pentru deschiderea robinetelor cu sferă	27
5.1. Alegerea sistemului de acționare pentru un robinet de închidere cu sferă. Factori de determinanți	27
5.2. Sistem inovativ de acționare a robinetelor în vederea scăderii momentului maxim de acționare. Prezentare	28
5.3. Descrierea situațiilor de funcționare	29
5.3.1. Presiune de lucru amonte de robinet. Presiune atmosferică în aval	29
5.3.2. Presiune atmosferică amonte de robinet, presiune de lucru aval	29
5.3.3. Presiune de lucru amonte și aval de robinet	29
5.4. Studii experimentale privind valoarea momentului de acționare în funcție de poziția robinetelor de pe traseul de ocolire propus	30
5.4.1. Metodă de măsurare a momentului de acționare pentru robinet fără sistem de ocolire, în cazul presiunea fluidului în amonte de robinet este cea de lucru, presiunea în aval și în corpul robinetului este presiunea atmosferică (S1)	30
5.4.2. Metodă de măsurare a momentului de acționare pentru robinet cu sistem ocolire ce face legătura între conducta din amonte robinet către cavitatea interioară a robinetului (S2)	31
5.4.3. Metoda de măsurare a momentului de acționare pentru un robinet cu sistem ocolire ce face legătura între conducta din amonte robinet către conducta aval robinet - bypass clasic (S3)	31
5.4.4. Metoda de măsurare a momentului de acționare pentru robinet cu sistem ocolire ce face legătura între conducta din amonte robinet, cavitatea interioară a robinetului și conducta aval de robinet (S4)	32
5.5. Prezentarea și discutarea rezultatelor experimentale	32
5.6. Concluzii privind diminuarea momentului de acționare	34
6.1. Concluzii generale	34
6.2. Contribuții originale	35
6.2.1. Contribuții teoretice	35
6.2.2. Contribuții privind simulările numerice	36
6.2.3. Contribuții privind studiile experimentale	36
6.3. Direcții viitoare de cercetare	37
Listă de lucrări publicate	38
Bibliografie selectivă	38

Introducere

Prezenta lucrare de doctorat se concentrează asupra robinetelor cu sferă utilizate în industria energetică, cu precădere în industria de transport și distribuție a gazelor naturale.

Lucrarea își propune studierea curgerii gazelor naturale prin robinetele cu sferă și identificarea particularităților ce pot apărea în timpul deschiderii/închiderii. Un alt obiectiv este oferirea unor recomandări de interes pentru producătorii de robinete cu sferă și în special proiectanților acestora printr-un ghid de proiectare a tuturor elementelor componente. Teza prezintă analiza rezultatelor obținute prin simulări numerice și testare pe stand, alături de o soluție inovativă prin care se poate reduce momentul de acționare necesar deschiderii unui robinet cu sferă, contribuție deosebit de importantă în domeniul clasei de robinete de diametru mare.

Capitolul I prezintă tipurile principale de robinete cu sferă utilizate în industria energetică și analizează cercetări având ca obiectiv îmbunătățirea acestora și a sistemelor adiacente, alături de comentarea unor soluții ce fac obiectul unor brevete de invenții obținute pe plan internațional.

Capitolul II se axează pe prezentarea componentelor robinetelor cu sferă și propune o schemă logică privind proiectarea fiecărui element component.

Capitolul III analizează studii bazate pe simulări CFD asupra robinetelor cu sferă, precum și cercetări proprii bazate de simulări numerice efectuate cu programele SolidWorks Fluid Flow și ANSYS Fluent pentru trei tipuri de robinete: DN500, DN400, DN50.

Capitolul IV conține rezultatele experimentale obținute pe standul realizat și implementat în Laboratorul MFMAHP din Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași.

Capitolul V propune o soluție inedită ce poate conduce la scăderea momentului maxim de acționare a robinetelor cu sferă și rezultatele experimentale obținute în urma testării pe standul experimental, având ca urmare validarea conceptului.

Capitolul VI formulează concluzii privind întregul conținut al tezei și prezintă direcțiile viitoare de cercetare.

Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor

1.1. Importanța și actualitatea studiului robinetelor

Dezvoltarea sustenabilă a comunităților necesită rețele de conducte sigure și eficiente privind transportul fluidelor. Sistemele de conducte conțin o serie de subansamble ce permit realizarea rețelor precum: robinete, flanșe, contraflanșe, reglatoare, filtre, etc. Atât Uniunea Europeană cât și Statele Unite ale Americii au implementat reguli stricte privind standardizarea componentelor sistemelor de conducte de transport gaz, aplicabile pentru diametre mici și medii. Cele mai multe robinete utilizate în domeniul gazului metan trebuie să respecte cerințele și metodologia de proiectare în acord cu standardul API 6D sau echivalentul european, ISO 14313 ce oferă indicații privind dimensiunile funcționale (distanța față la față, diametrul minim de trecere, etc.) pentru robinetele de diametru nominal de maxim de 900 mm. Robinetele cu diametre nominale mai mari decât cele cuprinse în standardizări, necesită o soluție individuală de proiectare.

Lucrarea actuală se concentrează cu precădere pe proiectarea robinetelor cu obturator de tip sferă, și mai exact pe particularitățile ce apar la construcțiile de diametre mari. Tema este relevantă și de actualitate, piețele industriale specializate în producerea de robinete declarând câștiguri de 58.547 milioane de dolari în anul 2020 (Allied Market Research, 2022), prognozându-se pentru anul 2028 o sumă de 93.664,9 milioane de dolari. Totodată, având în vedere contextul actual în care tot mai multe țări și comunități investesc în extinderea/modificarea rețelor de gaze naturale și petrol în vederea producerii de energie termică și electrică, domeniu din cadrul industriei energetice, este nevoie de soluții noi, eficiente pentru a obține performanțe cât mai bune la un preț cât mai mic.

Cererea de gaze naturale în UE a atins 15.834.900 TJ în 2021 (EUROSTAT, 2023), ceea ce reprezintă 21,5% din consumul de energie primară al UE și acoperă 32,1% din cererea de energie pentru gospodării. Rețeaua de gaze a UE conține peste 200.000 km de conducte de transport și peste 2 milioane km de rețele de distribuție (ACER, 2023). Unul dintre cele mai importante planuri de dezvoltare a industriei de transport a gazelor naturale este EASTRING (Global Energy Monitor, 2023), în valoare de 1,6 miliarde EUR, ce implică dezvoltarea unei rețele de transport pentru gazele naturale în Europa Centrală și de Sud-Est, pentru a interconecta infrastructura existentă din România, Bulgaria, Slovacia și Ungaria. În 2020, un mare coridor de rețele de transport gaze naturale numit BRUA (Bulgaria, România, Ungaria, Austria) a fost finalizat. Pentru anul 2024, conform TRANSGAZ (Transgaz, 2023), planul este de extindere a acestuia sub numele BRUA faza II, o investiție în valoare de 74,5 milioane EUR, iar pentru faza III BRUA, planificată pentru 2026, valoarea investiției este de 530 milioane EUR.

În 2022, în urma invaziei Rusiei în Ucraina, noi conducte de transport de gaze naturale, precum interconexiunile Grecia-Bulgaria, Polonia-Slovacia și România-Moldova, sunt gândite să contribuie la securitatea aprovizionării cu gaze a Europei Centrale și de Est (Market Observatory for Energy, 2023). Adicional, avându-se în vedere încălzirea globală și avertismentele specialiștilor privind reducerea emisiilor de CO₂, TRANSGAZ își propune să folosească ca fluid de lucru la nivelul României o combinație între gaze naturale (80%) și hidrogen (20%), fiind pentru prima dată în România când există o directivă concretă de utilizare a hidrogenului în industria gazelor naturale (Gaz de România, 2022).

Prin politicile energetice actuale de aliniere cu obiectivele stabilite în Planul Repower EU (European Comision, 2023), companiile de specialitate în producția de echipamente hidromecanice utilizate în energetică, cum este și industria gazelor și petrolului trebuie să identifice cele mai bune soluții pentru a putea răspunde cererii crescânde de echipamente noi. După cum este bine cunoscut, în industria transportului de gaze, nu există instalație

pe care să nu fie instalat minim un robinet cu sferă, având rol de închidere de urgență. Subiectul a câștigat o atenție sporită din partea celor implicați în industria de profil, datorită necesității de a produce multe robinete de diametru mare, având ca și consecință nevoia de proiecte individuale.

Tema tezei pune accent pe robinetele de închidere cu sferă utilizate în industria gazelor naturale ce se realizează pe baza unor comenzi speciale și includ cerințe specifice. Unicitatea proiectării în cazul robinetelor este dată de necesitatea de a răspunde la multiple condiții restrictive, precum diametrul, locul unde va fi amplasat (subteran sau suprateran), cadrul climatic (care le poate expune la intemperii extreme), compoziția gazului natural, compoziția solului sau condițiile de lucru în caz de dezastru (de exemplu, riscul dezvoltării incendiilor în conducte, cutremure sau inundații puternice), înălțimea la care este montat, etc. În plus, presiunea la valori ridicate, cerință frecvent întâlnită în rețelele transport de diametru mare conduce la solicitări suplimentare asupra componentelor, iar riscul de distrugere ridicat în cazul apariției eventualelor incidente în funcționare ar trebui diminuat.

1.2. Stadiul actual al cercetărilor privind robinetele de închidere cu sferă

Robinetele cu sferă prezintă un subiect de actualitate utilizat în domenii diverse precum cel energetic, transporturi, medicină și chiar spațial. În teză, sunt discutate o serie de lucrări și brevete.

Kang H. și colab. au proiectat, construit și testat un generator electric cu undă progresivă pentru care s-a utilizat un robinet cu sferă DN72 pentru a corecta parțial câmpul acustic modificat de erori de fabricație. Prin încercări repetate privind unghiul de deschidere a robinetului, s-a obținut un unghi de deschidere optim de 10° utilizând heliul ca și fluid de lucru la o presiune nominală de 1,8 MPa și o frecvență de 171 Hz, astfel câmpul acustic poate fi reglat prin intermediul unei rezistențe acustice locale (Kang H., Cheng P., Yu Z., & Zheng H., 2015).

Tverskoy M. și colab. au propus un nou tip de acționare printr-o tijă și o roată dințată, cuplate la acționarea clasică a unui robinet de închidere cu sferă, pentru a putea eventual folosi robinetul și pentru controlul curgerii (Tverskoy M., Andrianov V., & Sokolov A., 2017).

În domeniul aerospațial, Wei S. și colab. au efectuat un studiu experimental privind performanța sistemului de control de zbor al unei rachete hibrid, utilizând robinete cu sferă și debitmetre echilibrate, pentru supapele de accelerație principale ce controlează debitul de oxigen de la nivelul camerei de ardere din motor (Wei S., și alții, 2022).

Liu Q. și colab. au studiat o metodă de reglare a debitului unui fluid ce prezintă instabilitate, excentricitate și neregularitate la trecerea printr-un robinet cu sferă DN50, prin instalarea unui dispozitiv reprezentat de o placă circulară care are rolul de a regla debitul de fluid printr-o serie de orificii convergente executate la unghiuri de 8° , 10° și 12° față de axa conductei. Rezultatele experimentale utilizând apa ca și fluid de lucru, arată că instalarea dispozitivului de convergență pe conducta din aval oferă rezultate mai bune comparativ cu poziționarea acestuia pe conducta din amonte de robinet, și că, odată cu creșterea unghiului orificiilor de convergență se ajunge la o uniformizarea jetului de fluid, cu precădere la deschideri mici ale robinetului. (Liu Q., Tian S., Lin Z., & Zhu Z., 2022).

O analiză experimentală la coroziune a fost făcută pe un robinet cu sferă fabricat din inox (AISI 316L) în baie de sare la 580°C pentru 5.5 ore de către Luo G. și colab. pentru a identifica soluții pentru creșterea duratei de viață a robinetelor. Analizând o serie de porțiuni din corpul robinetului s-a arătat că prin îmbunătățirea calității suprafețelor robinetelor (prin procedee precum lustruirea) privind microdefectele apărute în urma procesului de turnare, se poate limita apariția microfisurilor care duc la oxidarea componentelor. (Luo G., și alții, 2020).

Ren R. și colab. au efectuat un studiu experimental privind efectul parametrilor din zona de intrare în robinetul cu sferă, mai precis asupra câmpului de viteze, câmpului de presiuni și a ratei de descărcare a supapei de control în vederea stabilirii intensității fenomenului de cavitație. Astfel, este introdus un model de bloc de presiune care poate reduce intensitatea cavitației în zona de etanșare a supapei de control, în vederea proiectării pentru presiuni de valori ridicate (Ren R., și alții, 2023).

Qin L. și colab. au propus un algoritm care are ca și scop, prezicerea ratei de scăpări interne a unui robinet cu sferă, comparând rezultatele obținute cu alte modele. Soluția utilizată a demonstrat o performanță superioară d.p.d.v. a coeficientului de greutate, coeficientului de deflecție și a coeficientului de regularizare, comparativ cu celelalte modele luate în considerare. Astfel, combinarea acestor modele poate spori siguranța și eficiența conductelor de transport gaz prin detectarea promptă a scăpărilor interne din robinetele cu sferă (Qin L., Li T., Shi M., Cao Z., & Gu L., 2023).

O analiză numerică a curgerii fluidului în regim de cavitație într-o conductă cu evenimente tranzitorii cauzate de un robinet cu sferă acționat hidraulic a fost efectuată de către Soares A. și colab, care utilizează ca și metode de lucru, metoda cavitației cu vapori discreți și metoda de cavitație cu gaz discret. Rezultatele acestora au fost comparate, cele mai bune fiind cele care utilizează metoda gazului discret (Soares A., Martins N., & Covas D., 2015).

Bao M. și colab. au efectuat o analiză CFD privind caracteristica hidrodinamică și îmbunătățirea performanțelor unui robinet cu sferă ce conține în interiorul acestuia un rotor cu rol de reglare a debitului fluidului de lucru și a consumului de energie. După optimizarea proiectării acestuia, rezultatele privind puterea rotorului au crescut cu 7.22%, iar eficiența energiei investite a crescut de asemenea cu 7.5% (Bao M., și alții, 2023).

Zhao Z. și colab. au efectuat o analiză CFD pe un robinet cu un design inedit al sferei ce permite o cursă de 240° rotație în vederea reglării caracteristicii de debit. Rezultatele studiului lor au arătat că prin utilizarea acestui tip de sferă se poate obține o caracteristică aproape liniară. (Zhao Z., Gao X., & Liu Y., 2024).

Sotoodeh K. a reușit să reducă rata de scăpări de emisii fugitive conform standardizării ISO 15848-1 pentru un robinet cu sferă DN25. A constatat că prin instalarea unui guler format din strat triplu de grafit, se reduce rata de emisii fugitive din jurul tijei cu 23.5%, iar în cel mai pesimist scenariu cu 3% (Sotoodeh K., 2021).

Un robinet cu sferă cu etanșare metalică a fost inventat de către Xiaozhen S. Robinetul prezintă ca și particularitate o piesă suplimentară așezată pe piesa de legătură și o tijă de acționare alungită care împreună permit conectarea unei acționări (poate fi manuală, electrică, hidropneumatică, etc.). Produsul are o construcție simplă, cu o durată de viață ridicată, fiabilitate crescută, acționare (închidere/deschidere) flexibilă și performanță de etanșare garantată (China Brevet nr. CN210240641U, 2020).

Zhendao Y. și colab. au brevetat un robinet cu sferă proiectat pentru a rezista în medii corozive, prin instalarea a două pachete de etanșare, unul superior și unul inferior, separând astfel suprafețele exterioare ale scaunelor și ale sferei de mediul coroziv. Avantajul acestui robinet este faptul că poate fi utilizat timp îndelungat fără a se pune problema schimbării elementelor de etanșare din cauza coroziunii (China Brevet nr. CN210218757U, 2020).

Masao T. și Yuji T. au conceput un robinet cu sferă cu cinci căi, una de intrare și patru de ieșire, utilizat în special pentru fluidele cu valoarea mare a viscozității și presiunii. Avantajul constă în faptul că printr-o construcție robustă și sigură, reușește să direcționeze debitul de fluid în trei direcții folosind un singur robinet, fără alte fittinguri suplimentare (Japonia Brevet nr. JP2020026835A, 2020).

Wubo J. și alții au conceput un robinet cu sferă anti scăpări. Corpul robinetului este conceput din două jumătăți simetrice sudate, robinetul fiind unul de tip flotant. Are avantajul că matrițele din care sunt realizate cele două jumătăți de robinet cât și corpul robinetului în sine sunt realizabile la un preț redus și este necesar un singur cordon de sudură privind realizarea conexiunii între cele două jumătăți (China Brevet nr. CN210240637U, 2020).

Anda Z. și colab. au brevetat un robinet cu sferă din compus din două corpuri forjate, îmbinarea dintre ele realizându-se prin elemente filetate. Particularitatea acestui robinet constă într-un dispozitiv de blocare a tijei robinetului pentru evitarea acționării robinetului printr-o eroare umană (China Brevet nr. CN210218758U, 2020).

Jie W. și colab. au proiectat un robinet cu sferă pentru care au conceput o construcție aparte a scaunelor de etanșare printr-o etanșare dură situată pe o piesă suplimentară care permite glisarea scaunului de etanșare atât către suprafața de etanșare a sferei cât și în direcția opusă, spre aval sau amonte, oferind astfel o etanșare superioară de tip dublu efect (China Brevet nr. CN210218770U, 2020).

Dongshan D. și colab. au conceput un robinet cu sferă destinat utilizării în domeniul prelucrării cărbunelui, prin propunerea a două soluții constructive diferite de scaune de etanșare pentru aval și amonte, având particularitatea unui design special ce împiedică reținerea zgurei cărbunelui între scaunul robinetului și suprafața de etanșare a sferei, reducând astfel abraziunea dintre scaun și sferă (China Brevet nr. CN210218759U, 2020).

Bo Y. și colab. au brevetat un robinet cu sferă destinat utilizării în condiții de presiuni și temperaturi ridicate, ce oferă o etanșeitate sporită prin pachetele de etanșare din grafit utilizate în jurul tijei de acționare, eficiența robinetului fiind dată de structura constructivă specifică acestui tip de auto-etanșare (China Brevet nr. CN210240757U, 2020).

Hanguang W. și colab. au proiectat un robinet cu sferă dublă de tip flotant cu posibilitate de acționare individuală a fiecărei sfere. Există două orificii de golire, unul la capătul corpului robinetului și altul paralel cu tija de acționare a sferei centrale, cu posibilitatea acționării treptate. Avantajul constă în faptul că adoptând o soluție constructivă cu două sfere se conferă o etanșare net superioară unui robinet cu o singură sferă (China Brevet nr. CN210218772U, 2020).

Iulian C. și colab. au brevetat un robinet cu sferă, utilizat pentru vehicularea fluidelor cu grad ridicat de inflamabilitate, a cărei etanșare este realizată prin deformarea elastică a unuia dintre elementele componente, sub acțiunea presiunii interioare a fluidului sau a forței înmagazinate (România Brevet nr. 108192B1 , 1993).

Jinxiang S. și colab. au conceput un robinet cu sferă prevăzut cu un sistem exterior de conducte de ocolire echipat cu două robinete, unul în aval și unul în amonte, conectat între corpurile secundare ale robinetului din aval și amonte și orificiile concepute pentru a împinge scaunele mobile în direcții opuse sferei, adică spre aval și amonte, prin intermediul fluidului care intră în momentul deschiderii în circuitul de ocolire (China Brevet nr. CN209294460U, 2019).

Capitolul II. Contribuții privind metodologia de proiectare a robinetelor cu sferă

2.1. Prezentarea principalelor părți componente ale unui robinet sferic

În vederea înțelegerii pașilor necesari proiectării și a algoritmului propus, în figura 2.1 sunt prezentate cele mai importante componente ale robinetului sferic.

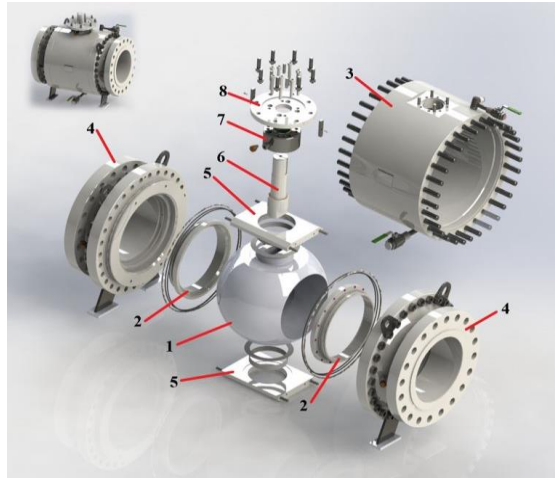


Figura 2.1. Componentele principale ale unui robinet sferic.

Sfera și scaunele au rolul de a realiza etanșarea conductei atunci când robinetul este închis. Corpul principal este cel care susține majoritatea elementelor componente ale robinetului, în timp ce corpurile secundare sunt responsabile de susținerea scaunelor de etanșare și de conectarea robinetului la rețea. Plăcile de ghidare au rolul de a susține sfera într-o poziție fixă și de a o ghida pe aceasta în timpul acționării robinetului, în timp ce tija de acționare introdusă în sferă este cea care asigură transmisia dintre tipul de acționare (levier, reductor, acționare automată) și sferă. Piesa de legătura este o piesă intermediară în interiorul căreia sunt situate garniturile ce asigură etanșarea dintre corpul principal și partea superioară a robinetului și totodată menține flanșa pe care este așezată acționarea.

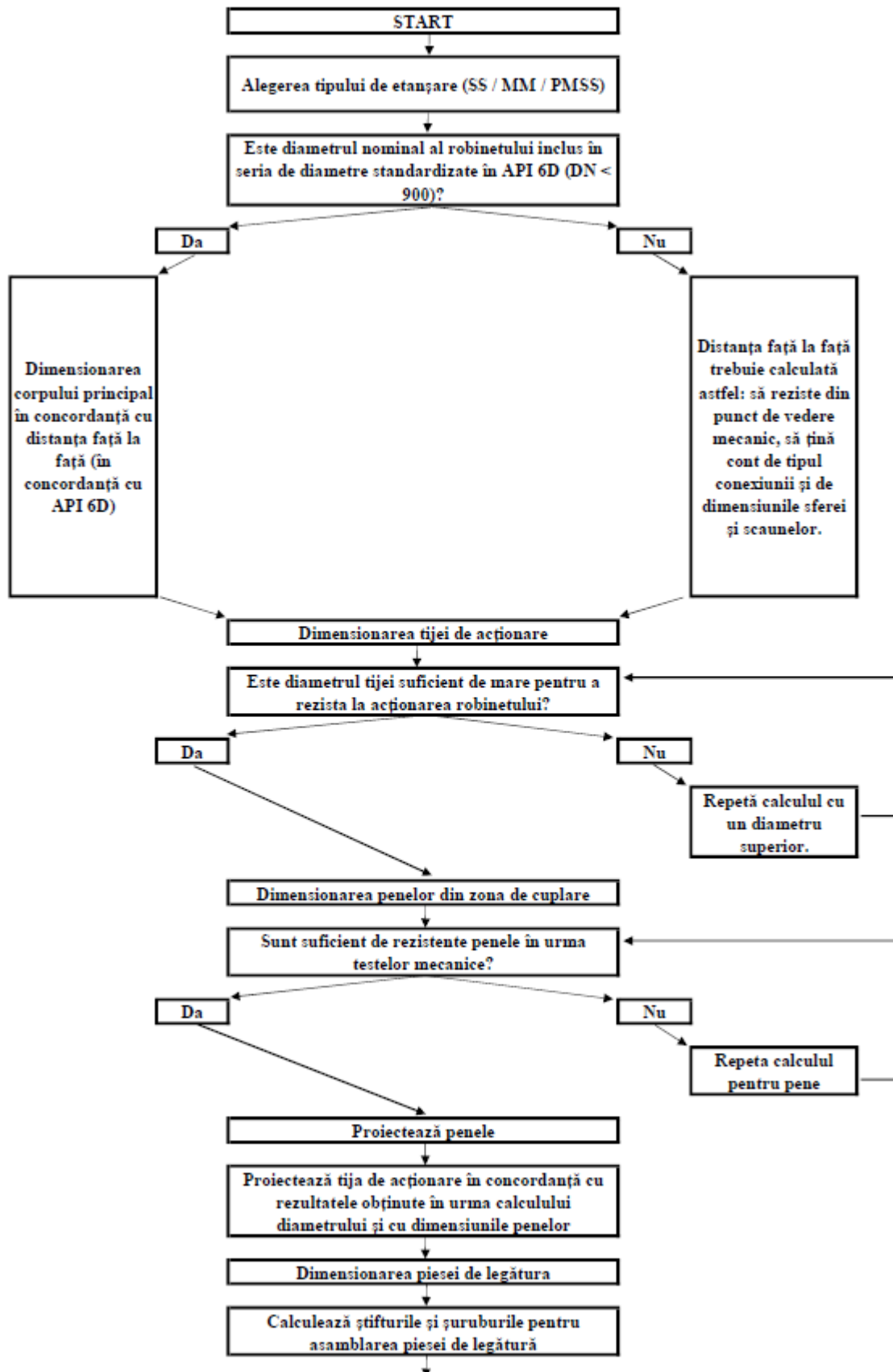
2.2. Algoritm de proiectare a robinetelor cu sferă

Principalul avantaj pentru care se folosește un robinet cu obturator de tip sferic este reprezentat de faptul că prezintă cele mai bune calități de etanșare și siguranță, având o construcție robustă cu acționare rapidă. O observație importantă privind robinetele cu sferă este acela că nu sunt recomandate pentru a fi utilizate în poziții intermediare, ci doar în pozițiile închis/deschis (complet).

Cerințele clientului sunt determinante în stabilirea modului în care se proiectează un robinet cu sferă. Aceste cerințe vin către proiectant sub forma unui caiet de sarcini în care sunt specificate: fluidul de lucru (gaz/petrol/apă), diametrul nominal, presiunea de lucru, presiunea maximă în conductă, materialul țevii (și diametrul acesteia în cazul unui robinet subteran), temperatura mediului ambiant, temperatura fluidului de lucru, densitatea fluidului de lucru, locul în care va fi amplasat (subteran/suprateran), precum și alți parametri sau cerințe tehnice pe care trebuie să le îndeplinească. Din literatura de specialitate se remarcă lucrarea elaborată de Ming-Jyh Chern și colab., care recomandă producătorilor de robinete de închidere, să traseze caracteristica de lucru prin încercări pe stand și să țină cont în proiectare și testare de fenomenul de cavitație (Ming-Jyh Chern, 2007).

În continuare se prezintă algoritmul propus de proiectare a robinetelor sferă, însoțit de explicații și recomandări formulate de autor. Schema logică prezentată în figura 2.2 are caracter de originalitate și constituie

o contribuție proprie în domeniu, ce reprezintă rezultatul a peste 5 ani de experiență de lucru în domeniul proiectării robinetelor sferă pentru instalații de conducte ce necesită elemente de obturare de dimensiuni și/sau condiții de lucru particularizate.



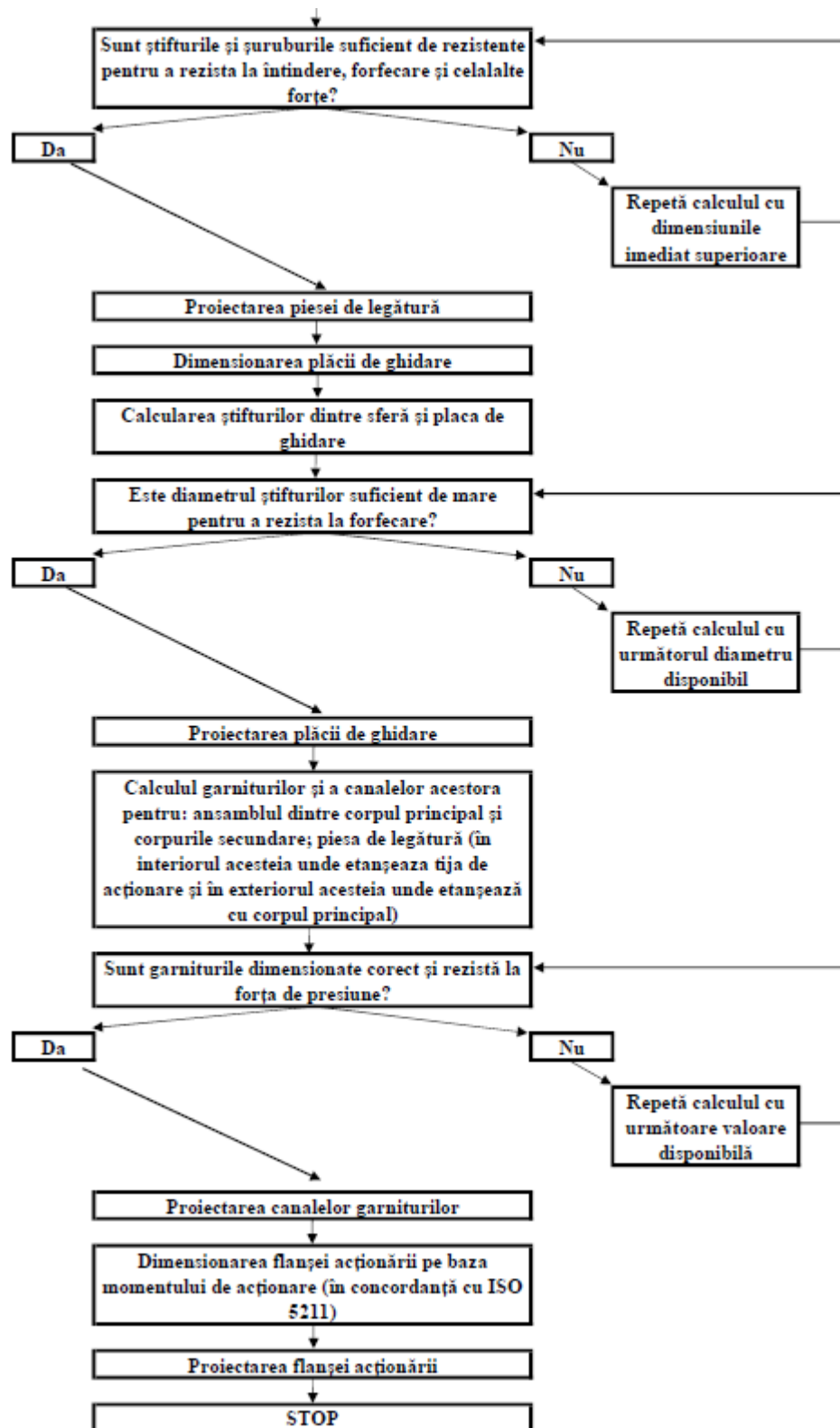


Figura 2.2. Algoritm propus pentru proiectarea robinetelor sferă

2.2.1 Organul de obturare: sfera

În figura 2.3 se prezintă organul de obturare tip sferă și se indică poziția diferitelor repere.

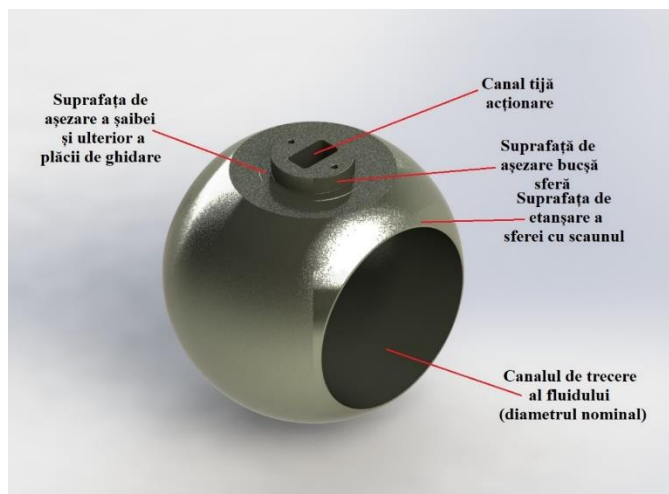


Figura 2.3. Organ de obturare tip sferă

2.2.2. Alegerea tipului de etanșare al sferei cu scaunul

Un ansamblu scaun etanșare se prezintă în figura 2.4. Primul pas în procesul de proiectare a robinetelor sferice este determinarea tipului de etanșare, care poate fi: SS (Soft Sealing), MM (Metal-Metal), PMSS (Primary Metal Secondary Soft Sealing).



Figura 2.4. Ansamblu scaun etanșare

În cazul utilizării tipului de etanșare SS, vom avea o sferă din oțel carbon, un set de scaune din același material etanșarea realizându-se cu garnituri din Viton sau alt tip de etanșare moale. Materialul din care se produce un reper este la fel de important ca modul în care acesta este executat sau proiectat.

Dacă etanșarea este de tipul MM, materialul sferei va fi oțel carbon cu acoperire metalică de înaltă rezistență în zona de etanșare cu carbură de tungsten, acoperire ce va fi prezentă și în zona de etanșare a scaunelor. După cum este specificat și în denumire, etanșarea se realizează prin contactul metalic dintre suprafața scaunului unde este prezent stratul de carbură de tungsten cu suprafața de etanșare a sferei, nefiind necesar alt tip de garnitură.

În cazul în care discutăm despre etanșare PMSS (vezi figura 2.5), sfera va fi identică cu cea din cazul prezentat anterior, diferența constând în prezența a două garnituri suplimentare în zona de etanșare a scaunelor (o garnitură tip triunghi din Viton sau alt material de etanșare moale, cunoscută sub numele de „Delta Ring” și o altă garnitură din material mai dur ce are rolul de a reține impuritățile fiind situată înaintea Delta Ring-ului, cunoscută sub numele de „Scraper”). După cum este specificat și în denumire, etanșarea se va face în principal prin contactul metalic dintre suprafața scaunului unde este prezent stratul de carbură de tungsten cu suprafața de etanșare a sferei, iar secundar, prin intermediul garniturilor. Este foarte important de precizat faptul că scaunele prezintă pe fața opusă celei de etanșare un număr de arcuri (prezente și la celelalte tipuri de scaune) care mențin permanent o împingere fermă a scaunelor pe suprafața de etanșare a sferei.

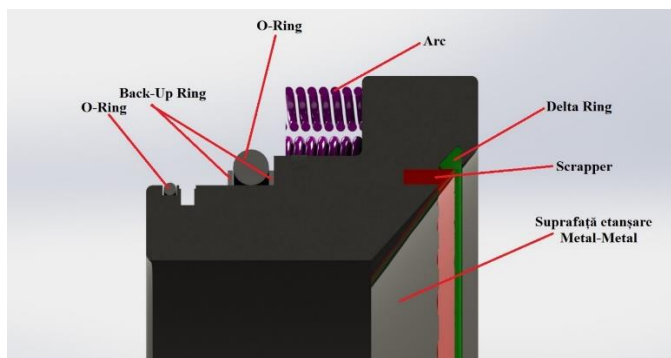


Figura 2.5. Detaliu etanșare PMSS – Ansamblu scaun

Indiferent că vorbim despre etanșare MM, SS sau PMSS, scaunele mai prezintă o particularitate. Pentru robinetele cu diametrul nominal mai mic de 150 mm, sunt folosite scaune SPE (Simple Piston Effect) care asigură întreruperea circuitului de fluid doar din exteriorul robinetului spre interiorul acestuia, existând posibilitatea apariției unor pierderi atunci când robinetul este închis și presiunea din cavitatea robinetului (între sferă și corpul principal) este mai mare decât cea din aval sau amonte. Pentru robinete cu diametrul nominal mai mare decât DN150 se recomandă utilizarea scaunelor DPE (Double Piston Effect). Acestea au ca și particularitate prezența a două back-up ring-uri și lipsa peretelui terminal, care oferă posibilitatea o-ring-ului principal de a glisa pe suprafața unde este situat pe scaun împreună cu back-up ring-ul de pe capăt în funcție de direcția din care vine presiunea exercitată de fluid și oferă etanșare atât din exteriorul robinetului spre interiorul acestuia atunci când este închis cât și din interiorul cavității robinetului spre aval sau amonte.

2.2.3. Stabilirea procedurii de proiectare în funcție de diametrul nominal al robinetului

Motivul pentru care proiectarea robinetului trebuie să pornească de la sferă și scaune este faptul că în funcție de dimensiunile acestora, vor fi dimensionate și restul componentelor. Un pas necesar proiectării robinetului este unul de verificare și anume dacă diametrul nominal al robinetului se încadrează sau nu în dimensiunile față la față standardizate în API 6D (API 6D, 2014). Standardul oferă aceste dimensiuni până la diametrul nominal de 900 mm inclusiv. Pentru robinetele cu diametru mai mare decât acesta, va trebui calculată o distanță față la față în funcție de dimensiunile scaunelor și sferei, în funcție de calculele de rezistență și de tipul de conexiune la conducta principală. Dacă discutăm despre un robinet cu diametrul nominal mai mare decât 900 mm, atunci responsabilul instalării conductelor în teren trebuie să i-a legătura cu echipa de proiectare pentru a afla acea dimensiune, înainte de pozarea conductelor.

2.2.4. Dimensionarea corpului principal

Corpul principal al robinetului se va dimensiona, la începutul proiectării. Diametrul interior al corpului principal este dictat de diametrul exterior al sferei, luându-se în considerare și o toleranță direct proporțională cu diametrul nominal al robinetului. În cadrul acestui calcul se va ține cont de: grosimea de perete, care va fi calculată în funcție de diametrul nominal al robinetului, clasa de presiune/presiunea nominală a acestuia, diametrul de dispunere și dimensiunea organelor de asamblare dintre corpul principal și cele secundare.

2.2.5. Dimensionarea corpului secundar

Corpurile secundare au un rol important, deoarece în interiorul acestora sunt situate scaunele de etanșare, și, totodată sunt cele care fac legătura dintre robinet și conducta pe care este amplasat. În funcție de cerințe, corpurile secundare pot avea la capete flanșe de conectare sau capete de sudură. În interiorul corpurilor secundare sunt așezate scaunele de etanșare, ce necesită prelucrări de înaltă precizie, pentru a se evita deteriorarea garniturilor prin contactul cu muchiile ascuțite sau suprafețe ce prezintă o rugozitate mare și/sau eventuale bavuri.

2.2.6. Dimensionarea tijei de acționare

Având dimensiunea față la față stabilită, se poate trece la următorul pas și anume dimensionarea tijei de acționare. Pentru a stabili diametrul exterior al acesteia, se face un calcul de rezistență pentru a determina dacă este acoperitor pentru a rezista la răsucire, calculul făcându-se în funcție de momentul maxim de acționare al robinetului. Momentul maxim de acționare al robinetului este dat de greutatea sferei, de tipul de etanșare, de diametrul sferei, și nu în ultimul rând, de presiunea nominală a fluidului de lucru. Secțiunea pătrată sau dreptunghiulară a tijei care intră în canalul sferei va fi dimensionată în funcție de dimensiunile acesteia. Lungimea tijei se obține din considerente constructive, fiind necesară o dimensiune suficient de mare pentru a

cuprinde corpul principal, piesa de legătură, flanșa acționării și o porțiune necesară asamblării acționării (manetă sau reductor manual/electric/hidropneumatic).

2.2.7. Dimensionarea piesei de legătură între corpul principal și flanșa pentru acționare

Următorul pas de parcurs este dimensionarea piesei de legătură, luându-se în calcul o serie de factori: diametrele și lungimile știfturilor, dimensiunile șuruburilor de prindere cu corpul principal, și nu în ultimul timp diametrul exterior al tijei. Diametrul exterior al tijei este cel care determină diametrul interior al piesei de legătură. Este bine de precizat faptul că în interiorul piesei de legătură, între tijă și aceasta există unul sau mai multe seturi de O-Ring-uri și de Back-Up Ring-uri ce asigură etanșarea. Un alt loc în care piesa de legătură prezintă O-Ring-uri este la gâtul acesteia ce va fi introdus în orificiul corpului principal al robinetului.

2.2.8. Dimensionarea plăcii de ghidare

Plăcile de ghidare sunt în număr de două și au construcție identică pentru placa superioară sferei ca și pentru cea inferioară. Dimensiunile care influențează forma sunt: gâtul sferei, diametrul știfturilor care mențin nemișcate plăcile de ghidare odată asamblate în corpurile secundare, și nu în ultimul rând greutatea sferei care este influențată direct proporțional de diametrul nominal al robinetului. Pe gâtul sferei, simetric, se vor regăsi o bucsă și o șaibă care au rolul de a prelua frecarea ce are loc între placa de ghidare și sferă în momentul deschiderii/închiderii robinetului. Știfturile ce păstrează fixă placa de ghidare în robinet mai au un rol foarte important deoarece, în partea inferioară a robinetului, o parte din greutatea sferei apasă inclusiv pe placa de ghidare, placă de ghidare ce este poziționată la o anumită înălțime prin intermediul acestora.

2.2.9. Selectarea flanșei pentru acționare

Ultima piesă principală care face parte din ansamblul robinetului este flanșa pe care este așezată acționarea. Aceasta este dimensionată conform standardului ISO 5211 (ISO 5211, 2017). În funcție de dimensiuni (diametru, grosime) și de numărul organelor de asamblare care prind acționarea de flanșă, acesteia îi corespunde un anumit F (începând de la F03 până la F60). Acest „F” al flanșei este ales în funcție de momentul de acționare al robinetului, fiind direct proporțional cu valoarea momentului.

Schema logică privind algoritmul de proiectare al unui robinet cu sferă descris anterior, a fost prezentat în lucrarea cu titlul, „Design Solutions for Large Size Ball Valves” publicată în Buletinul Institutului Politehnic Iași, în anul 2022 (Ivancu & Popescu, 2022).

Capitolul III. Contribuții privind simularea curgerii în robinete cu sferă și analiza numerică a rezultatelor

3.1. Stadiul actual al cercetărilor privind simularea curgerii în robinetele cu sferă

În literatura de specialitate există multe studii și cercetări privind efectuarea de simulări numerice în vederea studierii curgerii prin robinetele cu obturator sferic. Lin Z. și colab. au efectuat o analiză CFD pe un robinet cu sferă DN50 privind influența gradelor diferite de deschidere precum și efectelor generate de particulele de diferite diametre asupra caracteristicilor de curgere bifazică, inclusiv eroziunea (Z. Lin, H. Yu, T. Yu, & Z. Zhu, 2022). Prin această cercetare, ei ajung la concluzia că eroziunea își face apariția la deschiderile mici și se intensifică odată cu creșterea diametrului particulelor.

Caracteristica robinetului cu sferă folosit în mediu criogenic la viteze diferite de acționare prin scăderea/creșterea timpului de închidere/deschidere au fost analizate de Lin Z. și colab. cu ajutorul programului ANSYS Fluent (Z. Lin, J. Li, Z. Jin, & J. Qian, 2021). Printre concluzii se regăsesc o serie de informații privind distribuția valorilor vitezei și a presiunii, explicarea fenomenului de vârtej (vortex) din cavitatea sferei și tendința de intensificare, odată cu creșterea vitezei de acționare a robinetului.

Un alt robinet cu sferă DN50 a fost investigat, în lucrarea lui A.S. Tabrizi și colab. printr-un studiu CFD. A fost făcută astfel o comparație a modelului de curgere la diferite unghiuri de deschidere, din care a rezultat că la valori mici ale unghiurilor, vârtejurile sunt mai mari decât la unghiurile mari, acesta fiind unul dintre motivele pentru care instalația de conducte înregistrează pierderi mai mari de energie la unghiuri mici de deschidere ale robinetului sferic. Concluziile formulate de echipa de cercetare pot fi utilizate și pentru alte robinete, în scopul determinării performanțelor hidraulice și a condițiilor în care există riscul declanșării fenomenului de cavitație (Tabrizi, Asadi, Xie, & Lorenzini, 2014).

Cui B. și colab. au studiat evoluția caracteristicii în raport cu timpului de deschidere (Cui, Lin, Zhu, Wang, & Ma, 2017). Ei au făcut o analiză CFD folosind Fluent pe un robinet cu sferă DN50 pentru a observa influența procesului de deschidere și închidere asupra curgerii fluidului prin conductă și caracteristicii debitului în interiorul robinetului, observând astfel faptul că odată cu creșterea timpului de acționare (închidere sau deschidere

a robinetului), diferențele privind tipul de curgere devin mai puțin evidente. S-au obținut astfel informații teoretice privind timpii optimi pentru a îmbunătăți performanța dinamică și fiabilitatea procesului de acționare robinetului.

Jia M. și colab. au investigat patru forme diferite de obturator cu secțiune „V” pentru a fi utilizate într-un robinet cu sferă DN65. Cea mai bună soluție concepută, pentru un robinet care utilizează apa caldă ca și fluid de lucru într-un sistem secundar de încălzire, a fost identificată prin utilizarea programului ANSYS și constă în controlul dimensiunii secțiunilor vârfurilor obturatorului, îmbunătățind astfel acuratețea controlului debitului rețelei de conducte secundare pentru încălzire și reducând totodată și consumul de energie (Jia, Li, Jia, & Liu, 2021).

Song X. și colab. au folosit metoda elementului finit pentru a studia construcția unui robinet cu sferă din inox CF8M. Scopul a fost scăderea greutatei robinetului cu obturator sferic și optimizarea structurii, pentru a se obține un coeficient de debit precis. Analiza a fost efectuată pentru șapte poziții de deschidere ale sferei: 0°, 15°, 20°, 30°, 50°, 70° și 90°. S-a demonstrat că greutatea poate fi redusă cu până la 16,67% (de la 2,34 la 1,95 kg) pentru sferele studiate, cu raze de 37/35/33 mm. Rezultatele arată că materialul utilizat în construcția sferelor, ASTM A296 CF8M, conferă robinetului o rezistență sporită la coroziune, pe o plajă mai largă de temperaturi, comparativ cu sferele fabricate din CF8 (Song, Kim, Baek, & Park, 2009).

În cele ce urmează se prezintă simulări CFD (Computational Fluid Dynamics) realizate prin intermediul a două software-uri de specialitate: SolidWorks Fluid Flow 2023 și ANSYS Fluent 2022. Subcapitolul 3.2. se axează pe studiul unui robinet de diametru nominal de 500 mm cu etanșare de tip MM (metal-metal), ce evidențiază importanța alegerii corecte a scaunelor de etanșare și explică scăpările reduse din timpul testelor hidrodinamice pentru acest tip de etanșare. Subcapitolul 3.3. prezintă un studiu comparativ privind două robinete cu etanșare de tip PMSS (primary metal secondary soft sealing), unul de diametru mare DN400 și celălalt de diametru mediu DN50 în vederea investigării curgerii, precum și a impactul pe care îl are forța exercitată de presiunea fluidului de lucru, asupra componentelor interioare.

3.2. Analiza curgerii într-un robinet cu sferă DN500 cu etanșare metal-metal utilizând SolidWorks

În continuare se prezintă o serie de considerații privind importanța studiului unui robinet de diametru mare și metoda numerică utilizată. Urmează prezentarea rezultatele simulărilor efectuate cu programul SolidWorks, interpretarea rezultatelor pentru unghiurile de deschidere de 0°, 20°, 30°, 45°, 60°, alături de o serie de concluzii privind analiza CFD a unui robinet DN500. Informațiile principale sunt cuprinse și în lucrarea, elaborată de Laurențiu-Ioan Ivancu and Daniela Popescu, "Investigation of the Fluid Flow in a Large Ball Valve Designed for Natural Gas Pipelines." Applied Sciences 13.7 (2023): 4247, (Ivancu Laurențiu-Ioan & Daniela Popescu, Investigation of the Fluid Flow in a Large Ball Valve Designed for Natural Gas Pipelines, 2023), publicată într-o revistă ISI cu factor de impact.

3.2.1. Considerații privind importanța studierii unui robinet cu sferă de diametru mare

Un robinet cu sferă DN500, etanșare de tip MM (metal-metal) și scaune bidirecționale (DPE – Double Piston Effect), face obiectul acestui studiu privind analiza curgerii, în timpul procesului de închidere, la presiunea de 6.3 MPa. Robinetul realizat cu tehnologia de etanșare MM, specifică robinetelor cu sferă, conține componente, materiale și tehnologii de fabricație selectate atent pentru a răspunde provocărilor specifice transportului gazelor naturale prin rețele cu conducte de diametre mari.

În cele ce urmează se discută despre traiectoriile, câmpurile de presiune și viteze din interiorul unui robinet cu sferă DN500, având presiunea de intrare în robinet de 6,3 MPa. Scopul este de a investiga curgerea fluidului, în special în zonele de etanșare ale scaunelor, unde impactul presiunii înalte poate fi semnificativ. Studiul demonstrează motivul pentru care zona de etanșare a scaunelor – în special scaunul de etanșare din amonte – este cea mai vulnerabilă la distrugerea rapidă. Rezultatele pot fi aplicate pentru a identifica soluții adecvate de creștere a fiabilității întregului robinet, ce se încadrează în categoria robinete de închidere de diametru mare.

3.2.2. Metoda de lucru

Etanșarea metal-metal este bine cunoscută a fi una dintre cele mai sigure metode de etanșare în conformitate cu API 6D și ISO 14313, cu o eficiență foarte bună privind scăpările reduse în timpul funcționării (API 6D, 2014), (ISO 14313, 2007).

O ipoteză luată în considerare la simulări este că robinetul cu sferă a fost construit din elemente rigide, ceea ce ar însemna că nu au existat deformații de formă, generate de compresie. Condițiile la limită definite

pentru simulările ce urmează a fi rulate sunt în secțiunea de intrare (amonte), presiunea nominală are valoarea de 6,3 MPa și viteza de 20 m/s; în secțiunea de ieșire (aval), presiunea este cea atmosferică și viteza 0 m/s. SolidWorks Flow Simulation folosește ecuații de transport pentru energia cinetică turbulentă și modelul k- ϵ pentru rata de disipare. Metodologia care definește rețeaua de discretizare este setată identic pentru toate studiile de caz, în timp ce poziția sferei pe axa longitudinală a robinetului face ca zona internă delimitată de pereți să fie diferită. Pentru a asigura cele mai bune rezultate, rafinamentul mesh-ului a fost accentuat în zonele cele mai importante — zonele de etanșare de intrare și ieșire situate în vecinătatea scaunelor și a sferei, precum și la pereții interiori ai ambelor corpuri secundare.

Primele patru studii de caz au constatat în investigarea mișcării fluidului în interiorul robinetului cu sferă la diferite unghiuri de deschidere (60° , 45° , 30° și 20°), iar ultimul studiu de caz s-a concentrat pe situația robinetului cu sferă complet închis, definit ca unghi de deschidere de 0° .

3.2.3. Studiu de caz: unghiul de deschidere 60°

Curgerea fluidului într-un robinet cu sferă DN500 a fost studiată mai întâi pentru un unghi de deschidere de 60° . Valorile căderii de presiune sunt atât de mici pentru unghiurile mai mari de deschidere, încât nu are sens studierea dinamicii fluidelor în interiorul robinetului, rezultatele fiind foarte puțin diferite față de situația complet deschis.

Pentru un unghi de deschidere de 60° , gazul ce vine din amonte cu presiunea de 6,3 MPa și traversează robinetul cu sferă, nu este deviat semnificativ, deoarece nu întâlnește obstacole relevante. În figura 3.1 (a), se poate observa prima pierdere de presiune după zona de etanșare din amonte, deoarece aici secțiunea de trecere se îngustează puțin. A doua zona unde se observă o pierdere de presiune și, unde gazul atinge valoarea presiunii de 6,2 MPa, este identificată în zona de etanșare din aval. Într-adevăr căderea de presiune este foarte mică sub 2%, însă chiar și așa, utilizarea robinetului în această poziție pentru o perioadă îndelungată duce la uzură și poate provoca daune. Explicația este că amestecul de gaze și impurități - indicat în Figura 3.1 (a) prin culoarea violet – produce impact pe o suprafață mică a zonei de etanșare din amonte și poate desprinde stratul acoperit de carbura de tungsten.

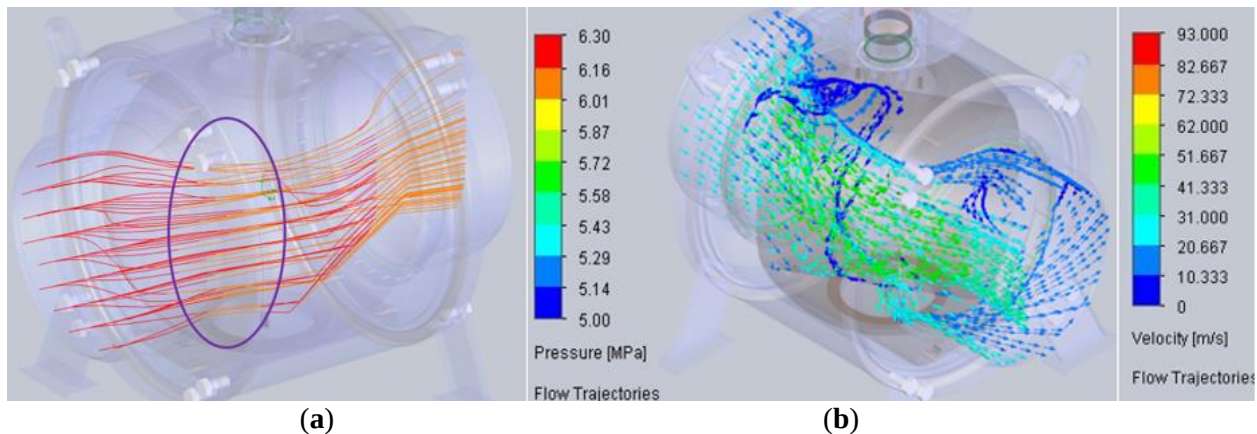


Figura 3.1. Câmpul presiunilor (a), respectiv câmpul vitezelor (b) pentru un unghi de deschidere de 60° :

Figura 3.1 (b) indică faptul că pentru o deschidere 60° , viteza care a fost de 20 m/s în secțiunea de intrare devine 50 m/s în cavitatea sferei, situată între zona de etanșare din amonte și zona de etanșare din aval. Viteza maximă este mică - nu foarte diferită de viteza în poziția complet deschis, datorită existenței unui spațiu suficient pentru mișcarea fluidului.

3.2.4. Studiu de caz: unghiul de deschidere de 45°

În acest caz, gazul intră în cavitatea internă a corpului secundar al robinetului cu sferă din conducta din amonte și încearcă să se disperseze în interiorul întregului robinet.

După cum se poate observa în Figura 3.2 (a), gazul sub presiune lovește suprafața de etanșare dintre zona de etanșare a scaunului și sferă, adică așa-numita zonă de etanșare din amonte. Mișcarea particulelor este una haotică și poate fi observată prima pierdere locală de presiune de la 6,3 MPa la 6,15 MPa.

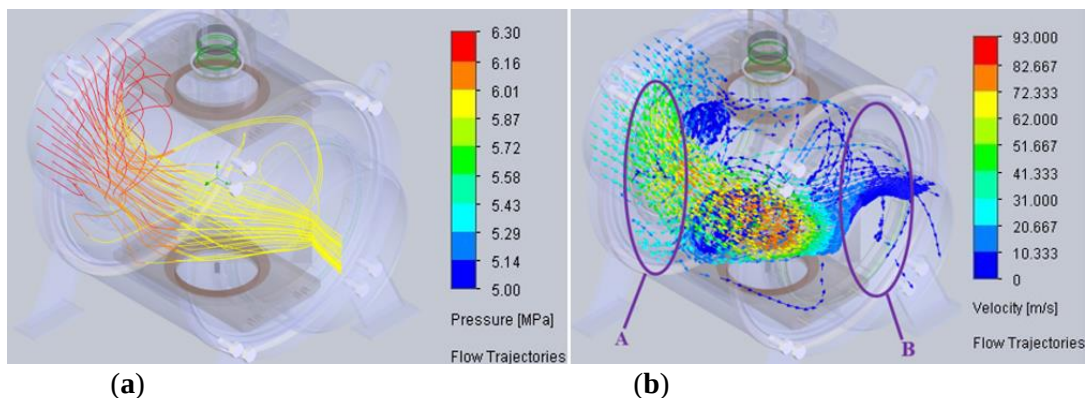


Figura 3.2. Câmpul presiunilor (a), respectiv câmpul vitezelor (b) pentru curgerea la un unghi de deschidere de 45°:

În cavitatea sferei, traiectoriile deviază și se poate observa a doua zonă în care se identifică o mică cădere de presiune; valoarea presiunii scade de la 6,15 MPa la 5,9 MPa, inițiindu-se fenomene de agitație și generându-se vârtejuri. În aval, particulele de gaz se regroupează și sunt conduse în continuare de fluxul de fluid principal pentru a părăsi cavitatea sferei prin corpul secundar din aval, cu o presiune de 5,9 MPa.

Traietoriile și vitezele prezentate în Figura 3.2 (b) arată că prima modificare a vitezei de la 20 m/s în amonte în conductă poate fi observată în zona de etanșare din amonte, când fluidul începe să prezinte o mișcare haotică. Gazul lovește sfera și suprafața de etanșare a scaunului cu o viteză de aproape 40 m/s. Cea mai mare viteză se observă în cavitatea robinetului, unde fenomenul de agitație al particulelor de gaz duce la atingerea vitezei de aproape 90 m/s. Diferitele traiectorii și valorile de viteză în zona internă ale sferei și în extremitățile superioare și inferioare ale peretelui intern sunt cauzate de geometria exterioră a sferei. Gazul are cea mai mare viteză în cavitatea sferei (culoare galbenă și portocalie) și cea mai mică la extremități (culoare albastră). Presiunea scade, iar generarea vârtejurii determină creșterea pierderii de energie, atât din cauza mărimii, cât și din cauza abaterii traiectoriilor datorită geometriei robinetului. Cel mai mare impact negativ se poate observa asupra scaunului din amonte, deoarece particulele de gaz – care pot conține unele impurități în compoziția lor – lovesc violent suprafața scaunului de etanșare. Zona de contact dintre scaun și suprafața sferei, notată cu A în Figura 3.2 (b), este vulnerabilă la distrugere rapidă. Rezultatul este dezlipirea stratului de tungsten ce acoperă scaunul în zona de etanșare.

3.2.5. Studiu de caz: unghiul de deschidere 30°

Odată cu continuarea procesului de închidere a robinetului, fenomenul de turbulență se intensifică.

Presiunea din amonte de 6,3 MPa scade la 6,1 MPa la intrarea în cavitatea sferei, datorită modificării spațiului de trecere. În această zonă este observată o scădere ușoară a presiunii, de sub 5%. A doua cădere de presiune dinspre ieșirea din robinet se datorează vârtejurii, când particulele de gaz încearcă să se regroupeze, iar valorile presiunii sunt înregistrate în intervalul de la 5,4 MPa până la 6 MPa. Gazul părăsește cavitatea sferei la o presiune de 5,4 MPa, după cum se poate observa și în Figura 3.3 (a).

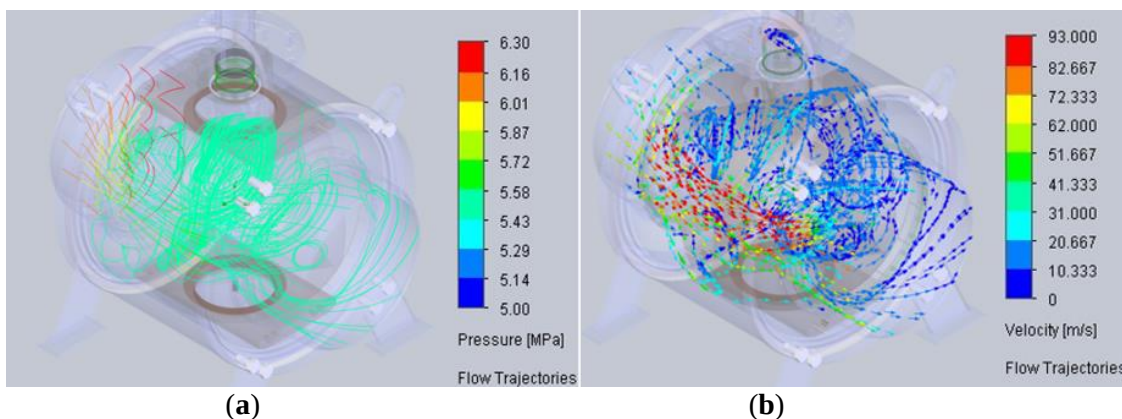


Figura 3.3. Câmpul de presiunilor (a), respectiv câmpul vitezelor (b) pentru curgerea la un unghi de deschidere de 30°.

Figura 3.3 (b) indică faptul că viteza inițială a gazului este amplificată în zona în care are loc prima pierdere de presiune, ajungând la aproape 55 m/s. Unele particule de gaz intră în cavitate trecând printre peretele interior al corpului principal și peretele exterior al sferei, la viteze scăzute de fluid de aproximativ 10 m/s. Acest lucru se întâmplă deoarece cantitatea de fluid care traversează cavitatea sferei este relativ mare. În zona vârtejului se atinge o viteză de 95 m/s. Circulația gazului prin corpul secundar din aval are loc la 20 m/s, cu excepția unor traiectorii. În aval, viteza devine constantă în conductă.

3.2.6. Studiu de caz: unghiul de deschidere 20°

Figura 3.4 (a) indică o presiune nominală de 6,3 MPa (culoare roșie) și o viteză inițială a gazului de 20 m/s în amonte de robinetul cu sferă, aflat în poziția ușor deschis. Presiunea scade brusc, cu până la 20%, la aprox. 5 MPa în zona de etanșare din amonte, cu excepția câtorva traiectorii. Se poate observa că doar unele particule de fluid, cu o presiune de 5,2 MPa până la 6 MPa, reușesc să intre în zona internă a sferei fără o modificare semnificativă a traiectoriilor din amonte. În zona internă a sferei se dezvoltă un vârtej de dimensiuni mari. Fluidul încearcă să părăsească zona trecând prin culoarul îngustat format la unghiul de deschidere a sferei de 20°, regroupându-se într-un mod ordonat, în timp ce unele particule trec printre scaun și sferă, așa cum se poate observa în zona notată cu A. În secțiunea de ieșire, presiunea are o valoare de aproape 5 MPa (culoare albastru închis).

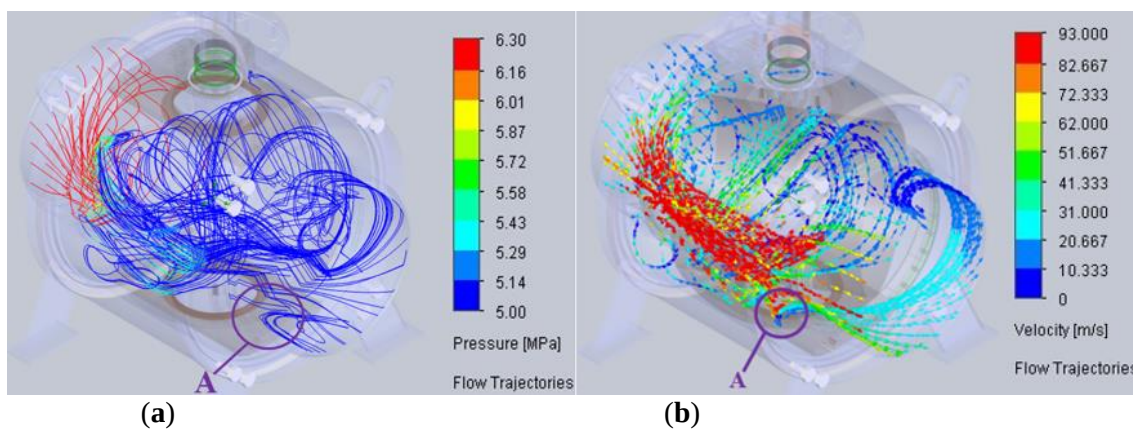


Figura 3.4. Câmpul presiunilor (a), respectiv câmpul vitezelor (b) pentru curgerea la un unghi de deschidere 20°.

Conform rezultatelor simulării prezentate în Figura 3.4 (b), viteza are o valoare de aproape 95 m/s în secțiunea de intrare în zona internă a sferei (culoare roșie). În zona vortexului, această viteză persistă, în timp ce în afara ei unele particule decelerează. Ieșirea din zona internă a sferei și zona de etanșare a scaunul din aval este străbătută de particule cu viteze diferite în intervalul 20–50 m/s. La ieșirea din corpul secundar din aval, viteza devine mai mică decât valoarea inițială, adică 20 m/s și este de așteptat să se observe o ușoară reducere a debitului, la unghiuri de deschidere sub 20°.

3.2.7. Studiu de caz: robinet complet închis

Rezultatele privind câmpul de presiune sunt prezentate pentru robinetul complet închis. În figura 3.5 (a), se poate observa că presiunea de 6,3 MPa (marcată cu roșu), corespunzătoare unei viteze de 20 m/s în amonte, este distribuită pe întregul corp cilindric aproape echidistant în zona de intrare. Prima modificare are loc la zona de contact dintre zonele de etanșare din amonte și din aval (galben, verde și albastru deschis). Se poate observa că presiunea este $p \approx 2$ MPa (albastru deschis) în zona internă a sferei. Această presiune mai mare decât presiunea atmosferică există deoarece etanșarea metal-metal nu asigură contactul ideal la suprafața de etanșare, iar unele particule de fluid reușesc să treacă. În zona de etanșare din aval, presiunea scade semnificativ, iar un mic contur de presiune (albastru) cu o presiune nominală de aproximativ 1 MPa este vizibil în zona situată între capătul scaunului din aval și începutul suprafeței circulare interne a corpului secundar.

Acesta este rezultatul efectului dublu piston (DPE). Prin urmare, dacă construcția scaunului de etanșare ar fi fost de tip SPE, scăpările acestui robinet cu sferă ar fi de așteptat să fie similare cu cele obținute în zona internă a sferei pentru tipul DPE ($\Delta p \approx 6,3-2$ MPa).

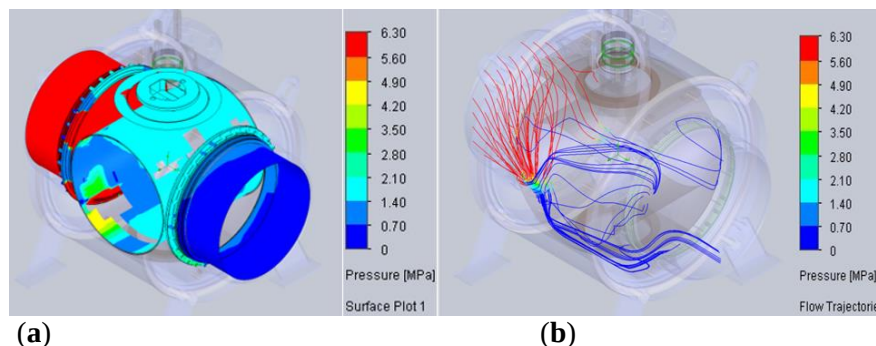


Figura 3.5. Conturul presiunilor (a); câmpul presiunilor și al traiectoriilor pentru robinetul complet închis.

Figura 3.5 (b) prezintă traiectoriile particulelor de gaz, inclusiv informații despre presiune. Gazul intră cu o presiune de 6,3 MPa din conductă și lovește corpul sferei, care îl disipează. O cantitate mică din fluid, reprezentată de săgeți galbene (4,2 MPa până la 4,9 MPa), verzi (2,8 MPa până la 4,2 MPa) și albastru deschis (0,7 MPa până la 2,8 MPa), trece între zona de etanșare și sferă (așa-numita zona de etanșare din amonte). Pe suprafața dintre zona de etanșare din amonte și zona de etanșare din aval, fluidul dezvoltă o presiune scăzută, reprezentată cu albastru închis (până la 0,7 MPa). Această presiune are impact asupra peretelui interior al corpului principal și generează vârtejuri înainte de zona de etanșare din aval.

Presiunea în zona interioară a robinetului este mai mare decât presiunea atmosferică, ceea ce indică faptul că etanșarea metal-metal duce la o situație în care există fluid în spațiul situat între peretele interior al corpului principal și zonele de etanșare. Deși aceasta nu este situația ideală, problema poate fi rezolvată prin aplicarea soluției de construcție DPE pentru scaunele de etanșare. Pentru acest tip de scaun, presiunea internă împinge garnitura de la scaunul din aval spre peretele suprafeței interioare a corpului secundar și, în consecință, corpul secundar împinge scaunul înapoi spre sferă. Prin urmare, doar câteva particule mici reușesc să treacă de scaunul de etanșare din amonte. Astfel, o etanșare foarte sigură este asigurată.

3.2.8. Concluzii privind analiza robinetului DN500 cu programul SolidWorks

Proiectarea robinetelor de închidere, fiabile și sigure este crucială pentru funcționarea și extinderea rețelilor de conducte de gaze naturale. Pe baza analizei câmpurilor de presiune, câmpurilor de viteză și traiectoriile pot fi formulate mai multe concluzii.

Simularea robinetului cu sferă cu un unghi de deschidere nul demonstrează importanța implementării tipului de scaun DPE pentru o bună etanșare a robinetelor de diametre mari. Unii furnizori folosesc un design SPE pentru scaunele din amonte, deoarece sunt mai ieftine. Din nefericire, o astfel de etanșare permite trecerea unor particule. Lipsa scaunelor DPE în aval, conduce la eliberarea de particule de fluid în conductă, ceea ce este inacceptabil pentru gazul natural utilizat ca și fluid de lucru.

3.3. Analiza curgerii în robinete cu sferă prevăzute cu etanșare din materiale elastice utilizând ANSYS Fluent

Subcapitolul 3.3 a fost în mare parte prezentat și în lucrarea publicată într-o revistă WoS, Ivancu Laurențiu-Ioan and Daniela Popescu, „Study on the Impact of Natural Gas Pressure on the Components of a Ball Valve” (Ivancu Laurențiu-Ioan & Daniela Popescu, Study on the Impact of Natural Gas Pressure on the Components of a Ball Valve, 2023). În cele ce urmează se analizează diferențele observate la robinete mari, în raport robinetele de diametru mediu, privind evoluția curgerii în interiorul robinetului cu sferă. Se efectuează o serie de simulări de curgere pentru un robinet cu sferă DN400 ce utilizează gazul natural ca și fluid de lucru la presiunea de 10 MPa, precum și un alt robinet cu sferă DN50 proiectat la aceeași clasă de presiune. Cu ajutorul ANSYS Fluent se face o analiză CFD pentru fiecare studiu de caz, reprezentat de grade diferite de deschidere.

Robinetul cu sferă DN400, construcție demontabilă tip trunnion, construit conform standardului API 6D (API 6D, 2014) și SR EN 14313 (14313, 2007), și având scaune de etanșare de tipul PMSS DPE a fost investigat pentru deschiderea sferei la 30°, 45°, 60° și 70°. Robinetul cu sferă DN50, construcție demontabilă tip trunnion cu același tip de etanșare pentru scaune, de această dată cu design SPE a fost investigat la deschideri ale sferei de 30°, 45°, 60° și 70°. Sunt prezentate și unele tehnologii utilizate în realizarea componentelor, precum și implicațiile folosirii lor.

3.3.1. Metodologie

Software-ul ANSYS Fluent a fost folosit pentru a arăta repartitia presiunii în cavitatea robinetelor cu sferă și fenomenele care au loc, folosind gazul natural ca fluid de lucru. Densitatea gazului este una variabilă și utilizează legile gazului ideal în simularea compresibilității fluidului. Ipotezele inițiale ale analizei sunt: debitul de fluid este complet turbulent și efectele vâscozității moleculare sunt neglijabile. Metoda de soluționare utilizată este presiune-viteză de tip „coupled”, care oferă unele avantaje față de celelalte tipuri, precum: implementare monofazată robustă și eficientă pentru curgeri în stare staționară; rezolvarea împreună a ecuațiilor de continuitate bazate pe impuls și presiune. Tipul de solver utilizat este unul bazat pe presiune de tip „coupled”; acesta rezolvă un sistem cuplat de ecuații de continuitate bazate pe impuls și presiune (Ansys, 2022).

Condițiile la limită utilizate pentru simulările ambelor robinete sunt: pentru zona de intrare, presiunea manometrică este de 10 MPa, utilizând ca și parametri - Intensitate și Diametru Hidraulic; viteza inițială a fluidului în amonte este de 20m/s. Pentru robinetul DN50 valoarea debitului este 135 m³/h, intensitatea turbulenței de 3% și diametrul hidraulic de 0,049 mm, în timp ce pentru robinetul DN400 valoarea debitului este 8464 m³/h, intensitatea turbulenței de 2.3% și diametrul hidraulic de 0,387m.

Pentru zona de ieșire, este solicitată presiunea manometrică absolută cu direcția de delimitare - Normal la limită; specificațiile pentru peretele conductei sunt perete staționar cu înălțimea rugozității de 3.2 μm și valoarea rugozității constante de 0.5. Ceilalți parametri utilizați (Intensitate și Diametru Hidraulic) sunt aceiași ca în zona de intrare.

3.3.2. Analiza curgerii într-un robinet cu sferă DN400 la presiunea nominală de 10MPa

În cele ce urmează se prezintă rezultate obținute pentru un robinet de diametru mare. Robinetul cu sferă DN400 proiectat la presiunea nominală de 10 MPa este analizat în cadrul simulărilor CFD la diferite unghiuri de deschidere ale sferei: 30°, 45°, 60° și 70°, acest ultim unghi fiind practic limita peste care robinetul poate fi considerat ca având o curgere ca în poziția total deschis, nemaifiind de observat aspecte particulare. În Figura 3.6 și Figura 3.7, sunt prezentate rezultatele pentru presiunea și viteza fluidului obținute în simulările efectuate cu ANSYS Fluent.

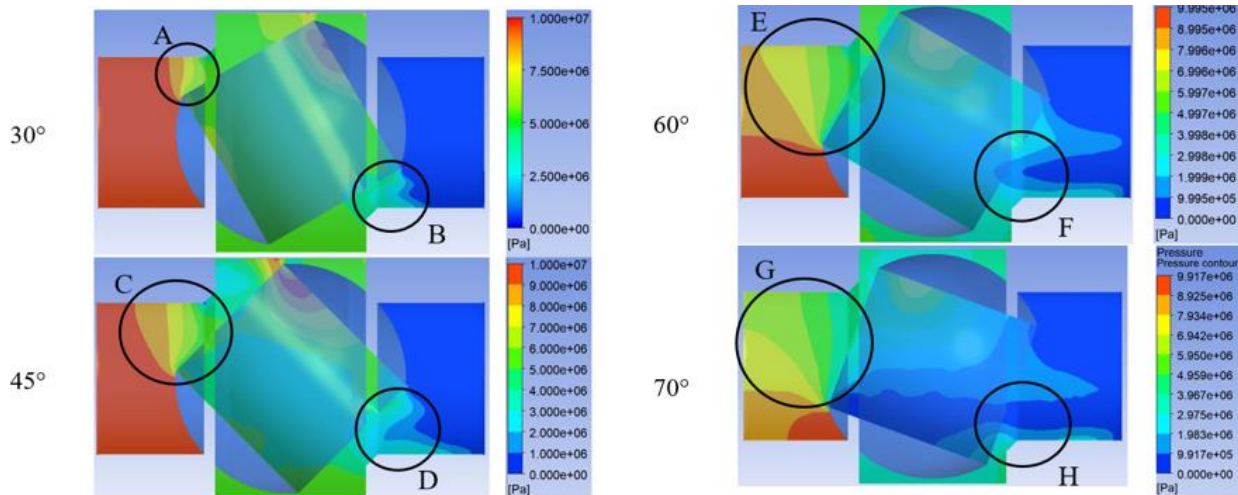


Figura 3.6. Câmpul de presiuni. Robinet cu sferă DN400.

În studiul de caz în care poziția de deschidere a sferei este de 30°, debitul de fluid trece prin zona scaunului de etanșare din amonte (notat cu A), unde presiunea scade rapid de la 10 MPa la cca. 5 MPa, printr-o trecere într-un spațiu restrâns. Gazul umple cavitatea robinetului, unde presiunea este de aproximativ 3,6 MPa și trece prin zona scaunului de etanșare din aval (notat B), având o presiune de aproximativ 2,5 MPa. Aceasta scade la mai puțin de 1 MPa, în corpul secundar din aval. Viteza este de aproximativ 160 m/s în zona marcată cu I a peretelui interior al sferei situat în partea opusă intrării jetului de fluid în robinet. În aceeași zonă poate fi vizibil un vârtej format de schimbarea bruscă a direcției de curgere (vezi Fig. 3.7). Circulația fluidului este în conformitate cu ecuația Bernoulli care indică o cădere importantă de presiune pentru robinetul cu sferă DN400, la o poziție de deschidere mică.

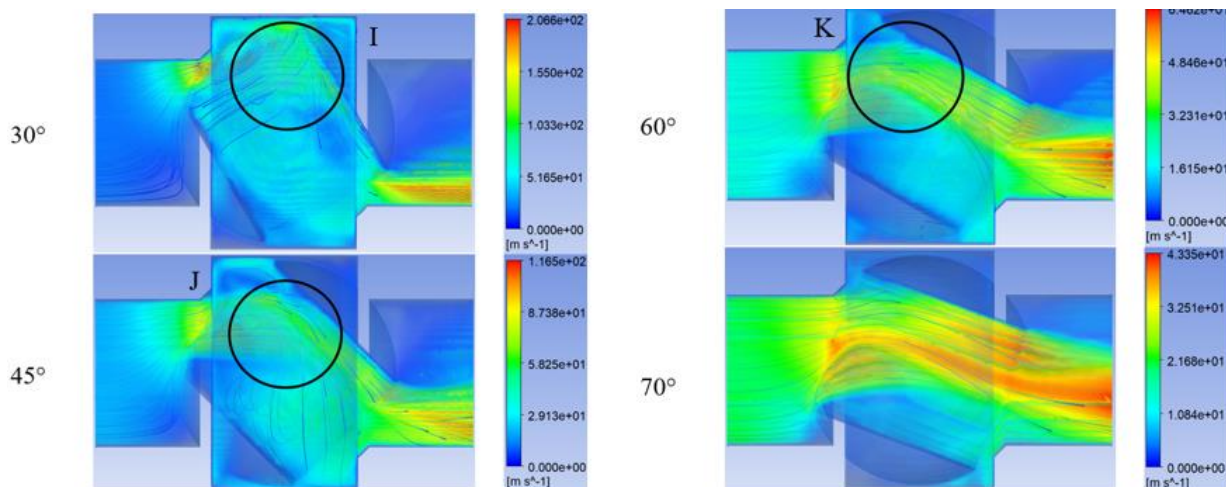


Figura 3.7. Câmpul vitezelor. Robinet cu sferă DN400

Când robinetul cu sferă se află în poziția de semi-deschis (45°), gazul care trece prin zona scaunului de etanșare din amonte, notată cu C, are o valoare a presiunii în scădere de la 10 MPa la aproximativ 5 MPa. Un vârtej de amplitudine mare se dezvoltă și ocupă întreaga cavitate internă a sferei. În zona peretelui interior al sferei situată opus zonei C se atinge cea mai mare presiune de aproximativ 9,5 MPa, în principal din cauza forței generate de jetul de curgere a fluidului. În corpul secundar din aval (notat cu D), presiunea continuă să scadă până la valoarea de 2-3 MPa. Viteza de curgere a fluidului atinge valori de până la 100 m/s în zona scaunului de etanșare din amonte, și este de aproximativ 80 m/s în zona notată cu J. Impactul jetului de fluid cu peretele interior al sferei situat opus intrării fluidului în robinet generează vârtejuri de amplitudine mare care ocupă întreaga cavitate a sferei, având viteze între 30 și 70 m/s. Vitezele au valori între 35 și 60 m/s în zona scaunului de etanșare din aval notată cu D și cresc până la 50-70 m/s la intrarea în corpul secundar din aval.

În studiul de caz, reprezentând poziția de deschidere a sferei de 60° , are loc o scădere ușoară a presiunii la intrarea în corpul secundar situat în amonte, în zona notată cu E. În cavitatea internă a sferei situată opus zonei de intrare E, se poate observa cea mai mare presiune, însă având o valoare mai scăzută față de cazurile precedente, și anume de doar aproximativ 8 MPa. În zona notată cu F, scaunului de etanșare din aval, presiunea are valori între 1 și 2,5 MPa. Fluidul traversează zona scaunului din amonte cu o viteză între 30 și 55 m/s, cavitatea sferei cu 30-50 m/s și corpul secundar din aval cu o viteză între 35 și 60 m/s. Amplitudinea vârtejurilor este mai mică comparativ cu cazurile precedente.

La o deschidere a sferei de 70° , presiunea scade pe o suprafață mai extinsă comparativ cu cazurile precedente notată cu G, în zona scaunului amonte. Aceasta atinge în interiorul sferei o presiune maximă de aproximativ 6.5 MPa și ajunge la o valoare de aproximativ 1 MPa în zona scaunului de etanșare din aval notată cu H. Fluidul trece de zona scaunului de etanșare din amonte cu o viteză între 20 și 40 m/s, prin cavitatea sferei cu o viteză cuprinsă între 10 și 45 m/s, prin zona scaunul de etanșare din aval cu o viteză de 25 și 40 m/s și prin corpul secundar din aval cu o viteză cuprinsă între 20 și 40 m/s.

În concluzie, simulările pe un robinet cu sferă de diametru DN400 (categoria dimensiune mijlocie spre mare) relevă că punctele critice, expuse la presiuni și viteze mari sunt:

- zonele din amonte și din aval, situate lângă zona din interiorul sferei, opus intrării jetului;
- suprafețele de etanșare ale scaunelor și sferei.

În continuare, se studiază un robinet cu sferă DN50 în scopul observării comportamentului fluidului pentru un robinet de diametru mediu, în timpul curgerii la diferite unghiuri de deschidere.

3.3.3. Analiza robinetului DN50 cu presiunea nominală de 10MPa

Un robinet cu sferă DN50, care funcționează la presiunea nominală de 10 MPa a fost analizat prin simulare CFD. Simulările au fost rulate la unghiuri de deschidere ale sferei de 30° , 45° , 60° și 70° . Fig. 3.8 și Fig. 3.9 prezintă rezultatele obținute.

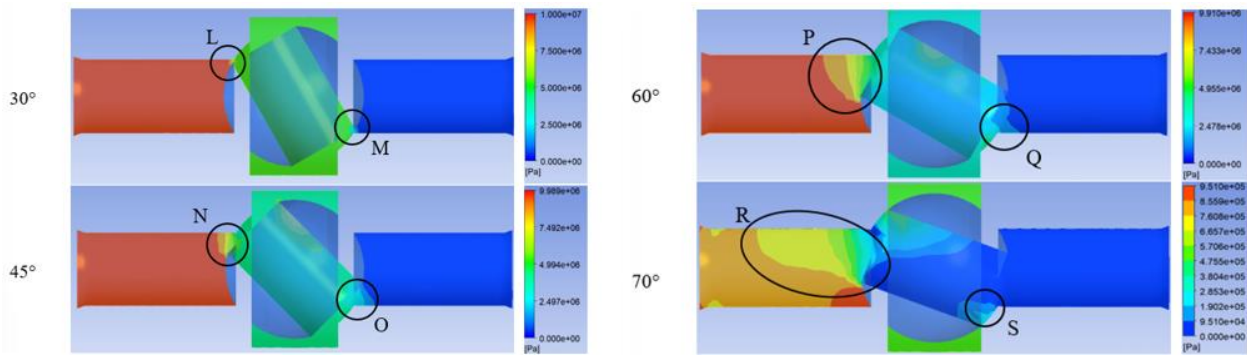


Figura 3.8. Câmpul presiunilor. Robinet cu sferă DN50.

La poziția de deschidere a sferei de 30°, se poate observa că în zona notată L, presiunea scade abrupt într-o zonă restrânsă. În zona scaunului de etanșare din aval notată cu M, gazul are o presiune de aproximativ 2 MPa. Viteza poate atinge valori de până la 200 m/s în zona scaunului de etanșare din amonte și este de aproximativ 125 m/s în zona peretelui opus intrării jetului de fluid în robinet, notată cu T. Gazul traversează cavitatea sferei cu o viteză de aproximativ 100 m/s, are mai mult de 150 m/s în zona scaunului din aval și intră în corpul secundar cu o viteză cuprinsă între 150 și 200 m/s.

Pentru unghiul de deschidere al sferei de 45°, în zona scaunului de etanșare din amonte notată cu N, căderea de presiune are loc pe o suprafață mai mare. În zona scaunului de etanșare din aval notată cu O, presiunea variază între 2 și 3 MPa. Fluidul are o viteză de 90-130 m/s în zona scaunului de etanșare din amonte, în jur de 90 m/s în cavitatea sferei, aproximativ 100 m/s în zona scaunului de etanșare din aval și o valoare cuprinsă între 90 și 120 m/s la intrarea în corpul secundar din aval.

În cazul unghiului de deschidere al sferei de 60°, zona notată cu P, este mult mai extinsă comparativ cu zonele anterioare notate cu L și M, unde o cădere de presiune se poate observa. Gazul părăsește cavitatea sferei prin corpul secundar din aval unde presiunea variază între 1 și 3,5 MPa. Viteza fluidului în zona scaunului de etanșare din aval este cuprinsă între 40 și 60 m/s, în jur de 40 m/s în cavitatea sferei, între 40 și 70 m/s în zona scaunului de etanșare din aval și între 30 și 70 m/s la intrarea în corpul secundar din aval. Un vortex de amplitudine mică poate fi observat în cavitatea sferei, având valori ale vitezei cuprinse între 25 și 40 m/s.

Studiul efectuat în cazul unghiului de deschidere al sferei de 70° arată o cădere de presiune ce se dezvoltă pe o suprafață extinsă față de cazurile anterioare, zonă notată cu R. Presiunea în zona scaunului de etanșare din amonte notată cu S are valori cuprinse între 0.5 și 3.5 MPa. Circulația fluidului nu este cu mult deviată față de direcția principală. Viteza este în intervalul de 20-40 m/s în zona scaunului de etanșare din aval și între 25-50 m/s la intrarea în corpul secundar din aval.

În concluzie, pentru robinetul cu diametrul nominal DN50, un vârtej bine definit cu o valoare a vitezei de aproximativ 150 m/s poate fi observat la deschiderea sferei de 30°. La deschideri mai mari, fluidul are tendința de a traversa cavitatea robinetului la viteze de 50 m/s fără abateri prea mari de la direcția principală.

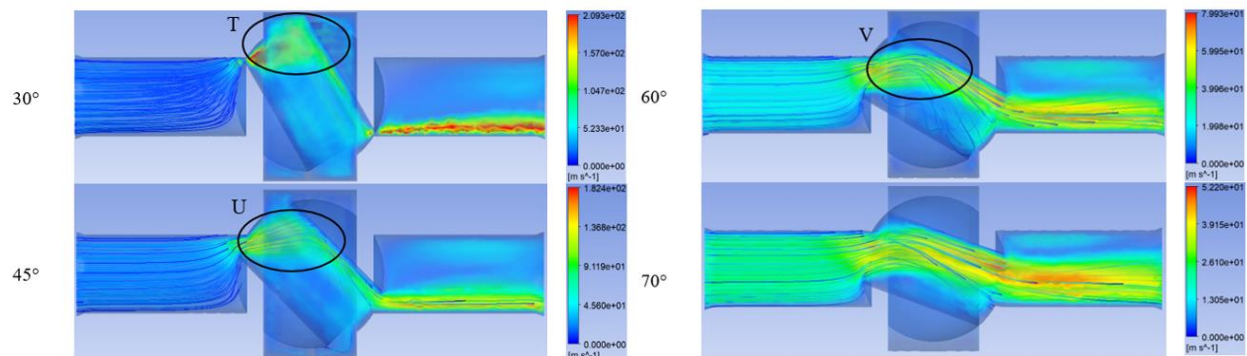


Figura 3.9. Câmpul vitezelor. Robinet cu sferă DN50.

3.4. Concluzii privind simulările numerice

Analizele CFD efectuate au demonstrat că robinetele cu sferă oferă calitate sporită a siguranței în utilizare atât în cazul celor echipate cu etanșare de tip metal-metal cât și în cazul celor cu etanșare moale de tip PMSS.

Pe baza simulărilor efectuate utilizând două programe de calcul, respectiv SolidWorks și ANSYS au fost evidențiate cauzele care pot genera scăpări de fluid datorate neetanșeității și s-au identificat argumente solide privind utilitatea robinetului cu sferă cu etanșare de tip metal-metal și construcție tip DPE pentru scaunul de etanșare în caz de incendiu. Era important de demonstrat acest lucru, fiindcă normativele recomandă acest tip de robinet ca și robinet de urgență – incendiu, la intrările în stațiile de reglare și măsurare a gazului, cât și la ieșirea din acestea.

În cazul robinetelor cu etanșare moale de tip PMSS, simulările au arătat că scăpărilor au fost neglijabile chiar și la grade de deschidere de 10° , ceea ce justifică faptul că robinetele cu etanșare de tip PMSS sunt considerate a fi cu grad maxim de etanșare, ele încadrându-se în clasele de scăpării la clasa AA conform ISO 5208:2015 (ISO 5208, 2015). Rezultatele obținute reprezintă practic o confirmare, bazată pe rezolvarea unor sisteme de ecuații, nu numai pe observarea îndelungată a funcționării așa cum se știe din recomandările formulate în normative.

Comportamentul fluidului în cavitatea robinetului s-a demonstrat a fi asemănător pentru toate robinetele studiate, atât în simulările efectuate cu SolidWorks Fluid Flow, cât și cu ANSYS Fluent. Astfel, la unghiuri de deschidere cuprinse între 30° și 60° au fost identificate vârtejuri de diferite amplitudini, curgerea având tendința de uniformizare după depășirea pragului de 60° . Cele două programe de calcul identifică poziția zonelor în care apar căderi de presiune, și anume zonele de etanșare din amonte și aval și zonele cu vârtejuri din cavitatea sferei.

Rezultatele simulării pentru cele 3 robinete studiate cu CFD, au relevat faptul că indiferent de tipul etanșării, cele mai expuse componente la distrugere sunt scaunele de etanșare și zonele de contact cu jetul de fluid aflate pe suprafața sferei. Astfel, a fost argumentată prin simulări numerice recomandarea tehnică de a utiliza robinetele cu sferă, numai în poziția închis – deschis. S-a demonstrat în teză că utilizarea în poziții intermediare expune robinetul la o scădere semnificativă a fiabilității pe termen lung și implicit la dificultăți în managementul tehnic al sistemului de conducte.

Capitolul IV. Rezultate experimentale privind comportarea unui robinet cu sferă DN80 la deschideri mici

4.1. Prezentarea generală a standului experimental

Experimentele au fost efectuate asupra unui robinet cu sferă DN80 PN16, prezentat în figura 4.1., fluidul de lucru fiind aer.

Investigațiile au avut în vedere două tipuri de încercări având obiective diferite:

- în regim dinamic, studiul caracteristicii unui robinet cu sferă flotantă la deschideri mici, sub 30° , rezultatele fiind prezentate și analizate în acest capitol IV;
- în regim static cu robinetul de încercat inițial închis, pentru validarea unui concept inovativ, prin care se urmărește reducerea momentului necesar deschiderii unui robinet cu sferă, rezultatele fiind prezentate și analizate capitolul V.

În acest capitol se prezintă standul experimental instalat în acest scop în laboratorul Mașini și Sisteme Hidraulice și Pneumatice din Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții de Mașini și Management Industrial. În figura 4.1 este prezentată schema standului experimental.

Debitul fluidului de lucru produs de către compresorul de aer comprimat (1) depinde de poziția unui robinet cu sferă (9a) având rol de închidere/deschidere a circuitului de alimentare a standului. Printr-o conductă (2) având DN15, aerul este dirijat către debitmetrul de aer comprimat (3). Debitmetrul poate oferi informații privind debitul volumic, presiunea și temperatura fluidului. În continuare, fluidul este dirijat către un tronson de conductă (4a) având DN80 situat în amonte de robinetul (5) de încercat DN80, conectat cu flanșe și de aici în aval către tronsonul de conductă (4b) având același diametru. La ieșirea din tronsonul (4b) se află montat printr-o reducăție un robinet cu sferă DN65 PN25 (6), care are ca și scop oprirea circulației fluidului și în aval de acesta un sistem de reducății (10) și un robinet de reglare pe capăt (7) care este folosit pentru reglarea presiunii în conductă, în timpul experimentelor.

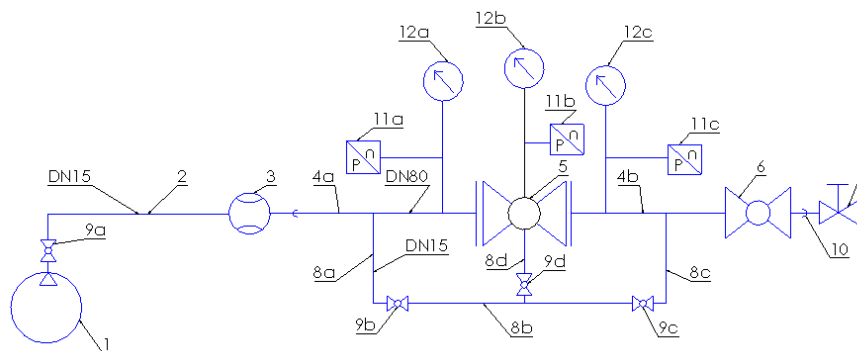


Figura 4.1. Schema standului experimental. 1 - compresor; 2 - conductă DN15; 3 – debitmetru; 4a, 4b - conductă DN80; 5 – robinet cu sferă echipat cu flanșe DN80; 6 – robinet cu sferă DN65; 7 – robinet de reglare; 8a, 8b, 8c, 8d – conductă DN15; 9a, 9b, 9c, 9d – robinet cu sferă DN15; 10 – reducere în DN15; 11a, b, c – traductor de presiune; 12a, 12b, 12c – manometru.

Pe tronsonul (4a) este montat traductorul (11a) și manometrul (12a). Pe tronsonul (4b) este montat traductorul de presiune (11c) și manometrul (12c). În corpul robinetului de încercat (5) s-a sudat o mufă pentru a conecta traductorul de presiune (11b) și manometrul (12b). Acest traductor de presiune are rolul de a oferi informații legate de presiunea din interiorul cavității robinetului (5), și mai exact din spațiul dintre suprafața exterioară a sferei și peretele interior al corpului. S-au montat două sisteme de măsură, deoarece pe parcursul desfășurării încercărilor presiunea trebuie menținută constantă și manometrul clasic permite supravegherea și intervenția rapidă și facilă, în timp ce traductoarele dau informații cu acuratețe suficient de bună pentru a fi folosite la analiza datelor.

Standul conține și un sistem de conducte de ocolire, care va fi utilizat pentru validarea conceptului inovativ descris în capitolul V al acestei teze. Sistemul cuprinde diverse tronsoane DN15: un tronson de conductă (8a) racordat la tronsonul de conductă (4a), un tronson (8c) racordat la tronsonul de conductă (4b), un tronson (8d) racordat la o mufă sudată în corpul robinetului (5) și un tronson (8b) ce face legătura între toate tronsoanele DN15. Pe sistemul de conducte de ocolire sunt montate robinetele de închidere (9b), (9c), (9d) prin care se poate suprima circulația fluidului sau se poate dirija fluidul de lucru către tronsoanele (8b) și/sau (8d). Acest traseu de conducte de ocolire permite realizarea echilibrării de presiune dintre amonte, aval și cavitatea interioară a robinetului în vederea reducerii momentului de acționare dar și a reducerii uzurii componentelor de etanșare a robinetului cu sferă DN80 PN16 (5) care ar fi predispușe atunci când robinetul ar fi acționat la o diferență de presiune dintre aval și amonte maximă.

Robinetul de încercat (5) este un robinet cu sferă DN80 PN16 este un robinet de închidere, cu trecere completă, corp din oțel, construcție sudată și obturator sferic flotant, din oțel carbon placat cu nichel. Scaunele robinetului sunt cu etanșare hard. Acționarea acestui robinet se realizează manual, cu levier, având posibilitatea atașării unei chei dinamometrice în vederea măsurării momentului de acționare.

Principalele caracteristici funcționale ale robinetului sunt: diametru nominal – DN80; presiunea nominală 16 bar; mediul de lucru gaz natural/aer comprimat; temperatura gazului $-29 \div 55$ °C; temperatura mediului ambiant $-29 \div 80$ °C;

4.2. Prezentarea elementelor componente principale ale standului experimental

Compresorul Balma NS59S-500-FT10 (1) utilizat pentru vehicularea fluidului de lucru este un compresor de aer cu două pistoane și două trepte de compresie, transmisia dintre motorul electric trifazat și cilindrul cu pistoane realizându-se prin curea (Balma Catalogue 2017, 2024). Particularitățile constructive ale acestuia sunt: aripioare de răcire pentru cilindru și capac chiulasă, tub colector cu aripioare pentru răcire a aerului care intră în rezervor și ventilație forțată cu debit mare. Principalele caracteristici de funcționare sunt: alimentare – curent trifazic; capacitate butelie – 500 litri; presiune maximă – 11 bar.

Debitmetrul (3), utilizat în vederea măsurării precise a debitului volumetric este de tip SD 6500 și oferă o acuratețe ridicată, repetabilitate și dinamică în măsurare. Modelul este un instrument de măsură complex ce oferă și informații privind temperatura și presiunea fluidului de lucru, afișându-le în timp real atât local pe afișajul digital, cât și pe o stație de lucru prin intermediul unei plăci de dezvoltare (IFM SD6500 Datasheet, 2024).

Principalele caracteristici funcționale sunt: domeniu de măsură a debitului $0,25 \div 75 \text{ m}^3/\text{h}$; domeniul de măsură a presiunii $1 \div 16 \text{ bar}$; fluid de lucru – aer comprimat.

Pentru a măsura momentul necesar deschiderii robinetului de încercat (5) s-a utilizat o cheie dinamometrică cu dublu sens Draper. Pentru a monitoriza curgerea s-a utilizat o placă de dezvoltare cu microcontroler de tip Arduino Uno R3, ce conține un microcontroller programabil și un mediu de comunicare între utilizator și dispozitiv de tip software. Modelul utilizat pe standul experimental este de tip Uno R3 cu microcontroller Almega 328 (Arduino Datasheet, 2024).

4.3. Prezentarea metodei de lucru aplicate în studiul comportării unui robinet cu sferă DN80, la unghiuri mici de deschidere

Măsurătorile au fost efectuate la diferite presiuni de lucru în domeniul 2-9 bar.

După pornirea compresorului, robinetul de încercat este poziționat în poziție complet deschis, robinetele de pe circuitul de ocolire sunt complet închise, robinetul DN65 PN25 complet deschis, iar robinetul de reglare de pe capătul conductei aval este complet închis. Pozițiile sunt menținute până la atingerea valorii presiunii fluidului de lucru dorite. Odată atinsă presiunea fluidului de lucru, se manevrează ușor robinetul de reglare (7) aflat la capătul conductei (4b) până când se obține o valoare stabilă a presiunii la manometre. Începând din acest moment, se pot prelua date, pentru diferite unghiuri de deschidere ale robinetului principal DN80 PN16. S-au efectuat măsurători privind presiunea, temperatura și debitul fluidului de lucru la grade diferite de deschidere, începând de la curgere liberă cu robinetul complet deschis (90°) și închizând gradual până la închidere (0°). Mai întâi au fost colectate datele obținute în timpul procesului de închidere a robinetului de încercat și apoi la deschidere pentru a pune în evidență și fenomenul de histerezis. Măsurătorile au fost efectuate minim de trei ori pentru fiecare unghi de deschidere, atât în timpul procesului de închidere cât și în timpul procesului de deschidere.

Deoarece s-a constatat că la un unghi de deschidere de peste 30° , debitul obținut a nu se modifică mult față de poziția sferei complet deschis, s-a investigat în detaliu zona unghiurilor de deschidere mici, când există o curgere de debit redus față de debitul nominal. Măsurătorile au fost efectuate lent, s-a așteptat minim 5 secunde între 2 măsurători și odată atinsă poziția la care debitul devine nul s-au continuat măsurătorile prin deschiderea robinetului. Și de această dată au fost colectate date în timpul a trei sesiuni de testare, cu pas mic de modificare a unghiului de deschidere din 2° în 2° .

4.4. Rezultate experimentale

4.4.1. Variația debitului în funcție de unghiul de deschidere la presiunea $p \approx 9 \text{ bar}$

Rezultatele obținute la închiderea robinetului care funcționează la presiunea de aprox. 9 bar sunt prezentate în figura 4.2. S-a remarcat că debitul masic se menține aprox. constant la valori ale unghiului de deschidere de peste 18° .

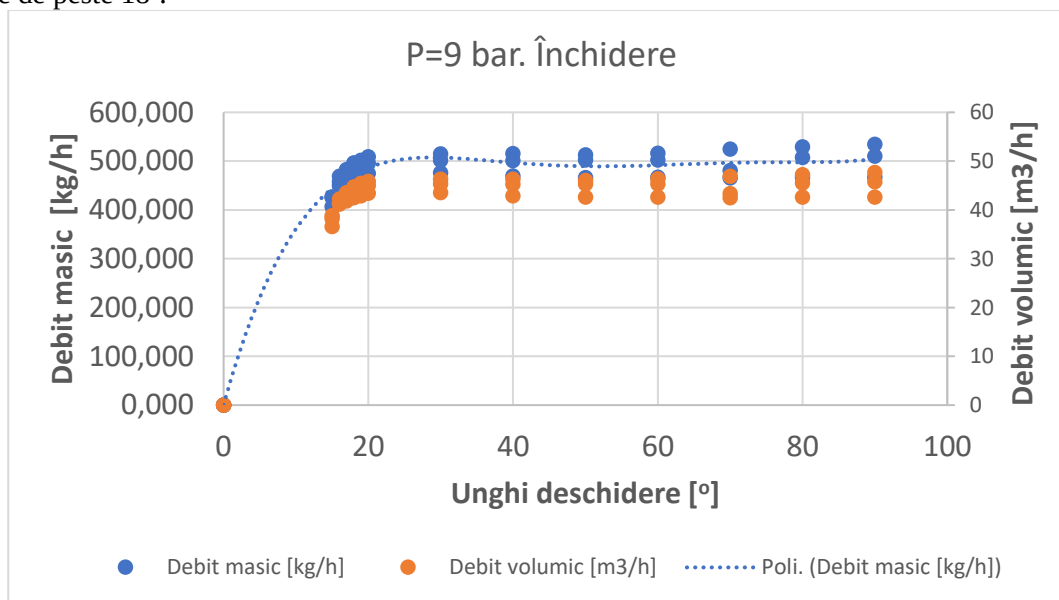


Figura 4.2. Închiderea robinetului DN80 la $p \approx 9 \text{ bar}$.
Variația debitului masic și a debitului volumic funcție de unghiul de deschidere.

În continuare, dat fiind că zona de interes pentru cercetările prezentate în această teză este la deschideri mici, au fost efectuate studii experimentale pentru acest domeniu și rezultatele sunt prezentate în figura 4.3. Se poate observa, pe grafic din figură că la aceleași unghiuri, debitul care circulă când robinetul închide este mai mic decât debitul circulat când robinetul deschide. În plus, se observă că se obțin valori ale debitului sub 95% din valoarea debitului nominal la unghiul de aprox. 12° , când curgerea devine instabilă deoarece valorile obținute sunt destul de împrăștiate. Măsurarea debitului la unghiul de 8° , nu a fost posibilă, deoarece robinetul practic se închide.

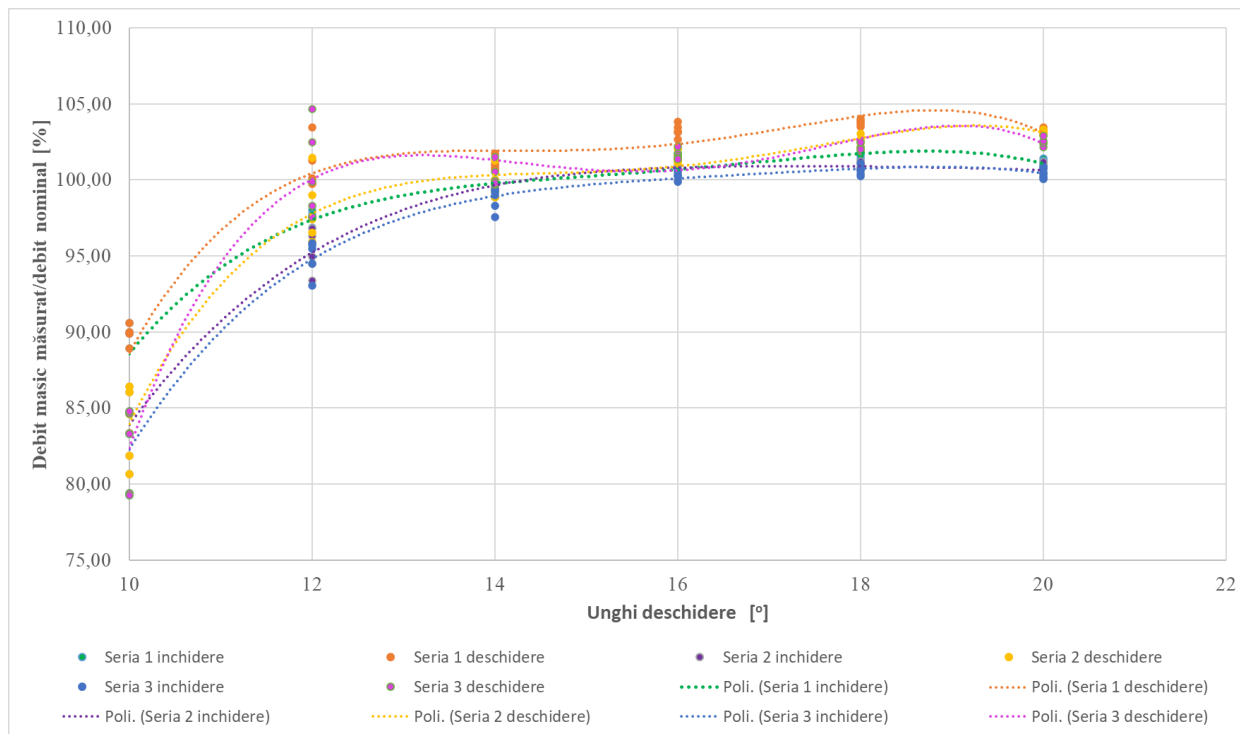


Figura 4.3. Închidere/deschidere robinet DN80 la $p \approx 9$ bar. Variația raportului debit masic măsurat/nominal la unghiuri mici.

S-au efectuat și o serie de simulări numerice pentru robinetul DN80, utilizând dimensiunile reale ale robinetului importate în ANSYS din SolidWorks, programul cu care a fost proiectat robinetul cu sferă flotantă investigat. Condițiile la limită utilizate pentru realizarea simulărilor sunt: presiunea inițială a fluidului de 9,2 bar; viteza inițială de curgere a fluidului de 4,8 m/s; fluidul de lucru utilizat – aer comprimat. La ieșirea din robinet a fost setată ca presiune de lucru, presiunea atmosferică.

Valorile vitezelor obținute la unghiuri de deschidere mai mari, începând cu 30° sunt tot mai mici, cum era de așteptat. Se poate observa în cazul unghiului de deschidere de 30° două zone, zona de etanșare din amonte (zona de contact dintre sferă și scaun) și zona peretelui interior al sferei opus intrării fluidului în cavitatea sferei marcată cu 33, cu valori cuprinse între 30 și 55 m/s, unde apare un vârtej cauzat de modificarea bruscă a direcției de curgere a fluidului. Pentru cazul unghiului de deschidere de 45° se poate observa o valoare a vitezei de aproximativ 15 m/s în zona de etanșare din amonte, un vârtej cu valori ale vitezei de aproximativ 13 m/s în zona marcată cu 34 și o valoare maximă a vitezei de curgere în corpul secundar din aval de aproximativ 17 m/s. Pentru unghiul de deschidere de 60° , viteza de intrare în cavitatea sferei este de aproximativ 7 m/s, viteza înregistrată în zona vârtejului marcată cu 35 de aproximativ 8 m/s și o valoare maximă a vitezei de aproximativ 10 m/s în corpul secundar din aval. În cazul unghiului de deschidere de 70° , valoarea maximă nu depășește aprox. 7 m/s.

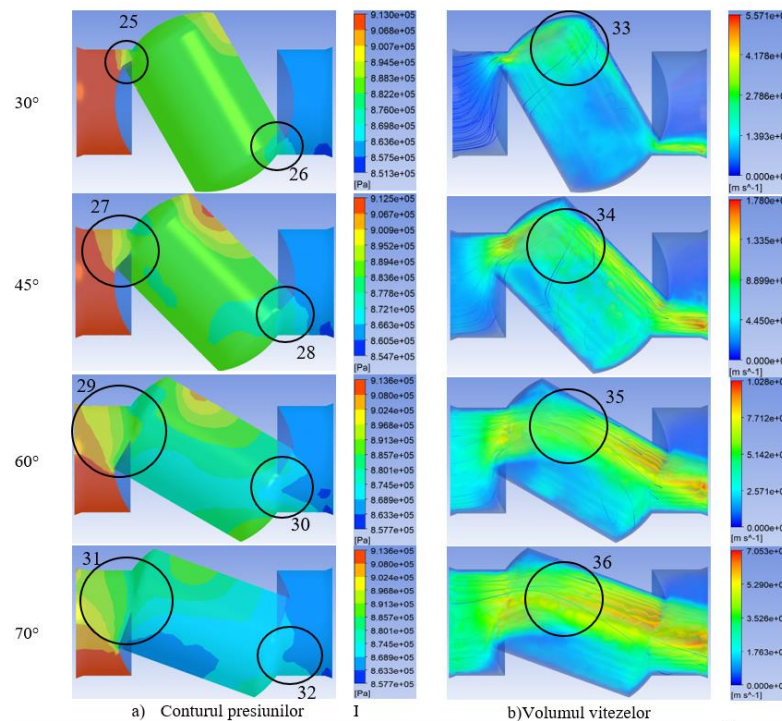


Figura 4.4. Conturul presiunilor (a), respectiv volumul vitezelor (b) la rotirea sferei din poziția închis către poziția deschis pentru unghiuri de deschidere mari

Ca și concluzii ale simulărilor rulate la o presiune de lucru inițială de 9,2 bar se evidențiază:

- viteza de circulație a fluidului are valori ridicate numai la unghiuri mici de deschidere cu precădere în zona de etanșare din amonte, ceea ce evidențiază cât de predispus la uzură este scaunul de etanșare, dar și suprafața de etanșare a sferei aflată în contact cu acesta în timpul procesului de deschidere, mai ales atunci când diferența de presiune dintre conducta amonte, cavitatea robinetului și conducta din aval este maximă;
- apariția unor vârtejuri în zona peretelui interior al sferei opusă zonei de intrare în sferă datorate schimbării bruște a direcției de curgere a fluidului;
- principalele zone de cădere a presiunilor sunt înregistrate în zonele de etanșare din amonte – mai evidențiată și cea din aval, ceea ce indică iar o predispoziție la uzură ridicată a zonei de etanșare din amonte.

4.4.2. Variația debitului în funcție de gradul de deschidere al robinetului la presiunea $p \approx 6$ bar

În figura 4.5 se prezintă valorile debitului masic respectiv volumic obținute cu același robinet la o presiune amonte de aprox. 6 bar. S-a ales această valoare deoarece o presiune $2 < p < 6$ bar este considerată conform ordinului 89/2018 ca fiind în treaptă de presiune medie, pentru sistemul de alimentare cu gaze naturale. Se remarcă o alură similară a graficelor ca și în cazul presiunii amonte de aprox. 9 bar, în ceea ce privește menținerea debitului relativ constant la deschideri mai mari de 30°. Debitului masic este însă evident mai mic, datorită densității mai mici a fluidului de lucru.

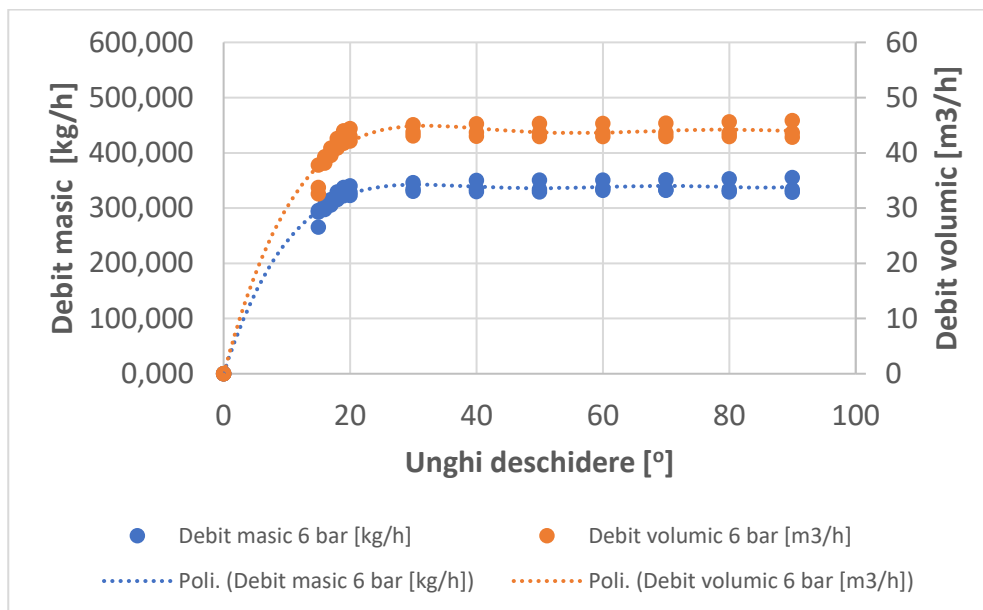


Figura 4.5. Închiderea robinetului DN80 la $p \approx 6$ bar.
Variația debitului masic și a debitului volumic funcție de unghiul de deschidere.

4.4.3. Variația debitului în funcție de gradul de deschidere al robinetului la presiunea $p \approx 4$ bar

Rezultatele privind încercările efectuate la presiunea $p \approx 4$ bar sunt prezentate în figura 4.6. Debitul are aprox. o valoare constantă la valori la valori mai mari de 20° a unghiului de deschidere și coboară sub 95% din valoarea debitului nominal la valori sub 18° . La presiunea de aprox. 4 bar, în jurul unghiului de 14° se remarcă din nou, împrăștierea datelor măsurate, ceea ce indică o curgere instabilă. Debitul se reduce brusc și pentru unghiuri de deschidere de $8-9^\circ$ și circulația fluidului este oprită.

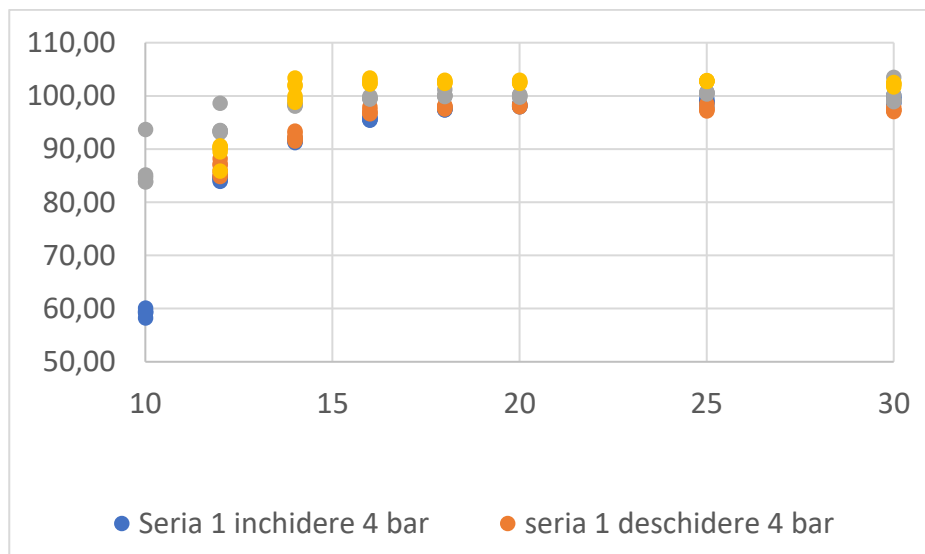


Figura 4.6. Închidere/deschidere robinet DN80 la $p \approx 4$ bar. Variația raportului debit masic măsurat/nominal la unghiuri mici.

4.4.4. Variația debitului în funcție de gradul de deschidere al robinetului la presiunea $p \approx 2$ bar

S-a ales această valoare deoarece o presiune $0,05 \text{ bar} < p < 2 \text{ bar}$ este conform ordinului 89/2018, treapta de „presiune redusă” din sistemul de alimentare cu gaze naturale și 2 bar reprezintă cea mai mare valoare din această categorie. Din figura 4.7 reprezentând variația raportului debit masic măsurat/nominal la presiunea $p \approx 2$ bar se observă că și în acest caz debitul masic rămâne aprox. constant, însă la unghiuri mai mari de 25° . Totodată, se observă din nou fenomenul de histerezis, debitul la deschidere este mai mare decât debitul obținut

cu același robinet în timpul procesului de închidere. Valori ale debitului sub 95% din valoarea debitului nominal se înregistrează la unghiuri de sub 18°.

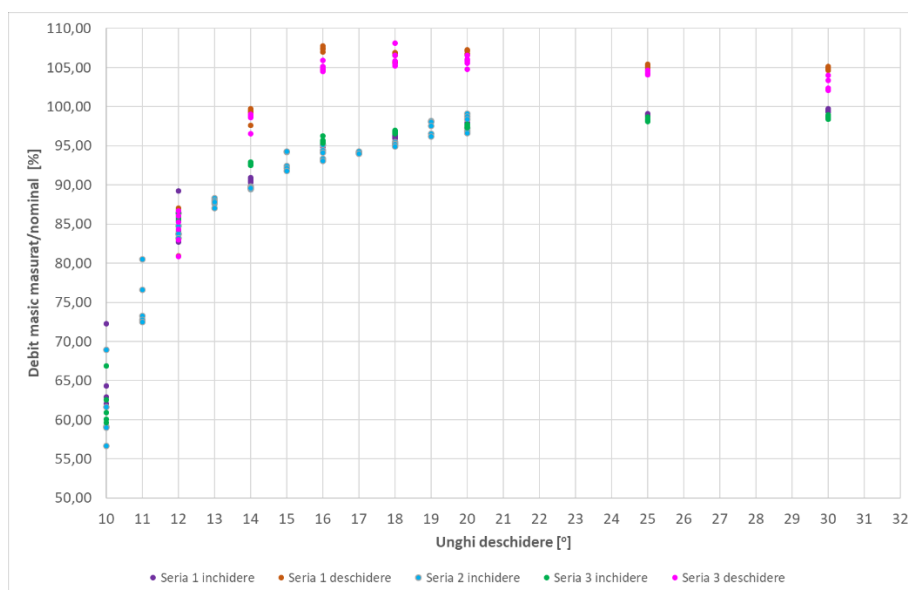


Figura 4.7. Închidere/deschidere robinet DN80 la $p \approx 2$ bar. Variația raportului debit masic măsurat/nominal la unghiuri mici.

4.5. Concluzii privind caracteristica robinetului cu sferă la unghiuri mici de deschidere

Din datele și reprezentările grafice obținute după încercările experimentale se poate observa modificarea curgerii numai la unghiuri de deschidere sub 24°, deoarece atunci are loc reducerea semnificativă a secțiunii de trecere a fluidului. Totodată, măsurătorile efectuate arată nelinearitatea comportamentală a robinetului cu sferă în timpul închiderii și deschiderii acestuia, precum și fenomene de histererezis. Pentru valori ale unghiului de deschidere de 12° la presiunea de 9 bar și de 18° la presiunea de lucru de sub 4 bar, se atinge valoarea de 95% din valoarea debitului nominal. Oprirea circulației fluidului de lucru se realizează indiferent de valoarea presiunii la valori ale unghiului de deschidere de aprox. 8-9°, ceea ce indică că odată cu creșterea presiunii, domeniul de funcționare la debite parțiale este tot mai restrâns.

Caracterul neliniar al robinetelor cu sferă poate fi avantajos în anumite aplicații unde se urmărește control numai la închidere în zona debitelor mici, dar robinetul cu sferă nu este potrivit când este necesar control pe tot domeniul debitelor. Totodată, un robinet cu sferă folosit un timp îndelungat la valori intermediare duce la o distrugere mai rapidă a organelor de etanșare – sfera și scaunele, observație justificată prin experimentele ce indică modificarea bruscă a vitezei de curgere într-un domeniu restrâns de unghiuri de deschidere.

Rezultatele prezentate în acest capitol validează afirmația că robinetul cu sferă nu este un robinet de reglare și nu se utilizează în poziții intermediare, ci este un robinet de închidere care oferă siguranță maximă atunci când este dimensionat și utilizat corect la presiunile pentru care a fost proiectat.

Capitolul V. Soluție inovativă de reducere a momentului de acționare pentru deschiderea robinetelor cu sferă

5.1. Alegerea sistemului de acționare pentru un robinet de închidere cu sferă. Factori de determinanți

Robinetele cu sferă pot fi acționate prin diverse metode: acționare manuală – cu levier, acționare manuală prin reductor melcat echipat cu roată de manevră, acționare electrică prin reductor melcat rotit de o acționare electrică, acționare electrică montată direct pe tija de acționare a robinetului, acționare hidropneumatică, etc.

Momentul maxim al acționării este determinat de forța necesară rotirii sferei pentru a efectua un ciclu de închidere/deschidere și crește direct proporțional cu creșterea diametrului nominal al robinetului, fapt datorat greutateii tot mai mari a sferei. Se consideră momentul maxim de acționare al unui robinet cu sferă, momentul necesar pentru a roti sfera în interiorul robinetului și pentru a deschide sau închide complet fluxul de fluid, valoare maximă la debutul procesului. După ce are loc desprinderea suprafeței de etanșare a sferei de suprafața de etanșare

a scaunulelor, momentul necesar acționării robinetului nu mai este la fel de mare întrucât fluidul de lucru sub presiune reușește să treacă peste zona de etanșare (scaunul și sfera) și diferența de presiune se reduce.

Momentul maxim de acționare poate avea valori diferite în funcție de conjunctura în care se află robinetul în momentul acționării. Astfel, în situația în care cu robinetul complet închis, există o presiune aproximativ aceeași a fluidului de lucru în conducta din amonte cu cea din aval, momentul de acționare va avea o valoare mai mică, comparativ cu valoarea momentului maxim de acționare ce corespunde situației în care aval de robinet, presiune este cea atmosferică, iar amonte presiunea fluidului de lucru este semnificativ mai mare.

În acest sens, dat fiind faptul că la un robinet cu sferă de diametru și presiune ridicate va exista un moment maxim de acționare de valoare mare apare necesitatea identificării unei soluții privind scăderea acestuia în vederea realizării rotirii sferei mai ușor. O soluție cunoscută și aplicată cu succes în industrie pentru a realiza scăderii momentului maxim de acționare este implementarea unui traseu adiacent de conducte numit traseu de bypass, care poate realiza egalizarea de presiune din amonte cu cea din aval de robinetul de închidere cu sferă și totodată cu presiunea din corpul principal al robinetului (în spatele sferei). Soluția nu numai că reușește scăderea drastică a momentului maxim de acționare, dar crește și fiabilitatea robinetului prin protejarea organelor de etanșare (scaunele și sfera) de forțele provocate de fluidul de lucru la presiuni și viteze ridicate. Totodată, utilizarea unui traseu de bypass în vederea realizării egalizării de presiune având ca și scop scăderea momentului de acționare este obligatorie în hidroenergetică, acolo unde există robinete de diametre foarte mari a căror deschidere este imposibilă fără a elimina forța exercitată de diferența de presiune. Pe de altă parte, în industria transportului gazului natural, acest aspect este unul opțional, una dintre cerințele clientului privind realizarea unui robinet cu sferă fiind: realizarea deschiderii robinetului la Δp maxim (presiune maximă în amonte, presiune atmosferică în cavitatea robinetului și în aval conducta aval).

Pentru soluția inovativă prezentată în continuare, a fost înaintată o cerere de brevet de invenție la OSIM, cu numărul de înregistrare A202400042/09.02.2024.

5.2. Sistem inovativ de acționare a robinetelor în vederea scăderii momentului maxim de acționare. Prezentare

Soluția tehnică pentru care a fost depusă o cerere de brevetare se poate aplica indiferent de valoarea diametrului nominal al robinetului cu sferă și este reprezentată de un robinet cu sferă acționat electric, echipat cu un sistem exterior de ocolire, în scopul realizării egalizării de presiune din amonte, aval și corpul robinetului, prin intermediul unor robinete cu sferă de dimensiuni mai mici acționate de asemenea electric și montate pe sistemul suplimentar de conducte. Întregul procedeu de realizare a egalizării de presiune se realizează automat prin intermediul unor traductoare de presiune comandate de un panou de control (România Brevet nr. A202400042/09.02.2024, 2024).

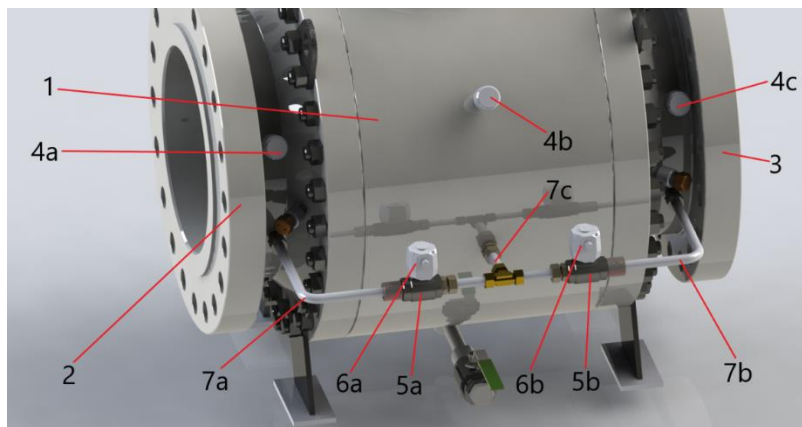


Figura 5.1. Robinet cu sferă montat suprateran, echipat cu sistemul de ocolire propus. 1. Corp principal; 2. Corp secundar amonte; 3. Corp secundar aval; 4a., 4b., 4c. Traductori presiune; 5a., 5b., Robinet cu sferă; 6a., 6b. Acționări electrice; 7a., 7b., 7c. Conducte bypass

În funcție de locul în care este montat robinetul principal (subteran sau suprateran), varianta constructivă a rețelei de bypass poate fi diferită, însă principiul de lucru este identic.

Robinetul cu sferă propus are în exterior un sistem de conducte de ocolire (7a, 7b, 7c) de diametru mai mic decât diametrul robinetului de acționat (1), având un traseu conectat în trei puncte: corpul secundar din

amonte (2), corpul principal (1) și corpul secundar din aval (3). Locul în care se vor executa găurile în corpurile secundare trebuie alese cu grijă, recomandarea fiind executarea lor înainte de zona de așezare a scaunelor de etanșare. În corpul principal, orificiul la care se va racorda țeava (7c) ce va aduce fluid de lucru din amonte sau aval în interiorul robinetului de acționat nu are un punct stabilit, însă, se recomandă realizarea acesteia la mijlocul corpului pe planul transversal pentru a avea o bună distribuție de presiune la momentul procesului de egalizare a presiunilor. Modul în care se va racorda țeava în cele trei puncte depinde de producător: poate fi prin intermediul unui niplu, prin intermediul unei mufe sudate, prin sudură directă etc. Totodată, pe conducta care aduce fluid din amonte (7a) spre corpul principal al robinetului și pe cea care aduce fluid din aval (7b) spre corpul principal (1) vor fi instalate două robinete cu sferă (5a, 5b) acționate electric (6a, 6b) pentru a putea controla momentul și direcția în care se dorește realizarea egalizării de presiune. În corpul secundar din amonte (2), în corpul secundar din aval (3) și în corpul principal vor fi executate în plus trei găuri filetate, străpunse, în care vor fi montate traductoarele de presiune (4a, 4b, 4c).

5.3. Descrierea situațiilor de funcționare

Se studiază trei situații diferite de funcționare descrise în cele ce urmează: fluid la presiune de lucru numai în amonte de robinet, fluid la presiune de lucru numai în aval de robinet și fluid la presiune de lucru amonte și aval de robinet. Pentru a înțelege cum arată standul experimental în fiecare situație, în figura 5.2 se prezintă o vedere de sus a robinetului cu sistem de ocolire.

5.3.1. *Presiune de lucru amonte de robinet. Presiune atmosferică în aval*

Prima posibilitate de funcționare constă în situația în care robinetul cu sferă este în poziție complet închis, corpul secundar amonte **2** este alimentat cu fluid de lucru sub presiune, iar corpul secundar aval **3** conține fluid la presiunea atmosferică; astfel, scaunul de etanșare amonte este împins de presiunea exercitată de fluidul de lucru în elementul obturator - sfera, motiv pentru care este nevoie de o egalizare de presiune în spatele sferei pentru a menține poziția scaunului de etanșare din amonte în poziție neutră. Prin aplicarea soluției inovative propuse în situația prezentată, traductoarele de presiune **4a** și **4b** transmit panoului de control să acționeze robinetul secundar amonte **5a** și să permită trecerea fluidului din corpul secundar amonte **2** prin conducta amonte **7a** către teul situat la intersecția dintre conducta **7a** și **7c** și de aici prin conducta **7c** către corpul principal **1**, fluidul fiind lăsat să circule și să umple cavitatea interioară a robinetului până când traductorul de presiune **4b** situat în corpul principal și cel din corpul secundar din amonte **4a** transmit semnal către panoul de control că egalizarea de presiune dintre amonte și cavitatea robinetului s-a realizat și robinetul principal poate fi acționat facil către poziția deschis.

5.3.2. *Presiune atmosferică amonte de robinet, presiune de lucru aval*

Cea de-a doua situație de funcționare este atunci când robinetul cu sferă este în poziție complet închis, corpul secundar amonte **2** conține fluid la presiunea atmosferică iar corpul secundar aval **3** conține fluid de lucru sub presiune; astfel, scaunul de etanșare aval este împins de presiunea fluidului de lucru în elementul obturator - sfera, motiv pentru care ar fi utilă egalizarea presiunii în spatele sferei, pentru a se menține poziția scaunului din aval în poziție neutră. Pentru a realiza acest deziderat prin aplicarea soluției inovative propusă în această situație de funcționare, traductoarele de presiune **4b** și **4c** transmit panoului de control să acționeze robinetul secundar aval **5b** și să permită trecerea fluidului din corpul secundar aval **3** către corpul principal **1** prin conducta aval **7b** către teul situat la intersecția conductelor **7b** și **7c** și de aici prin conducta **7c**; circulația fluidului este permisă până când traductoarele de presiune **4b** situat în corpul principal și cel din corpul secundar aval **4c**, transmit semnal către panoul de control că egalizarea de presiune dintre corpul secundar aval **3** și cavitatea robinetului s-a realizat, iar robinetul principal poate fi acționat către poziția deschis.

5.3.3. *Presiune de lucru amonte și aval de robinet*

Al treilea tip de funcționare este atunci când robinetul principal este în poziție complet închis, iar atât corpul secundar amonte **2** cât și corpul secundar aval **3** sunt alimentate cu fluid de lucru; astfel, atât scaunul de etanșare amonte cât și cel din aval sunt împinse de presiunea fluidului de lucru în elementul obturator - sfera, motiv pentru care ar fi indicată egalizarea de presiune în spatele sferei care să mențină poziția scaunelor de etanșare din amonte și din aval în poziție neutră. Prin aplicarea soluției inovative propuse, în acest caz de funcționare, traductoarele de presiune **4a**, **4b**, **4c** transmit semnal panoului de control să acționeze robinetele secundare **5a** și **5b** și să permită debitului de fluid din amonte și aval să pătrundă în interiorul corpului principal **1** prin teul situat la intersecția dintre conducta **7a** și **7b** prin conducta **7c**; atunci când presiunea din interiorul corpului principal **1** este egală cu presiunea din aval și amonte din corpurile secundare **2** și **3**, traductoarele de

presiune **10a, 10b, 10c** transmit semnal către panoul de control că egalizarea de presiune s-a egalizat și robinetul principal poate fi acționat către poziția deschis.

5.4. Studii experimentale privind valoarea momentului de acționare în funcție de poziția robinetelor de pe traseul de ocolire propus

Conceptul privind implementarea unui sistem exterior de conducte cu scopul de a scădea momentul maxim de acționare în conformitate cu cererea de invenție a fost validat experimental, în laboratorul Mașini și Sisteme Hidraulice și Pneumatice din Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții de Mașini și Management Industrial.

Diferența dintre situația prezentată în cererea de brevet depusă și cea implementată pe standul experimental constă în:

- toate robinetele secundare sunt acționate manual cu levier;
- a fost implementat un robinet secundar suplimentar pe conducta de ocolire care transportă fluidul de lucru către interiorul corpului principal al robinetului;

S-au efectuat măsurători a momentului de acționare a robinetului principal cu sferă DN80 PN16, echipat cu sistem de ocolire în stare de funcționare. Robinetul este închis, nu există curgere și interesează ce moment este necesar pentru deschidere, în următoarele scenarii de funcționare:

- (S1) Presiunea fluidului în amonte de robinet este cea de lucru, în timp ce în aval și în corpul robinetului este presiunea atmosferică (Δp maxim);
- (S2) Presiunea fluidului în amonte și în cavitatea sferei este presiunea de lucru, prin introducerea de fluid din amonte în cavitatea robinetului prin sistemul de ocolire, în timp ce în aval valoarea este aceeași cu presiunea atmosferică;
- (S3) Presiunea fluidului din amonte și din aval este aceeași, în timp ce în cavitatea robinetului presiunea este presiunea atmosferică;
- (S4) Presiunile din amonte, cea din aval și din interiorul robinetului sunt aceleași, caz în care avem echilibru de presiuni.

Pentru fiecare scenariu de funcționare s-a dezvoltat o schemă a sistemului de conducte de ocolire. Metodele prin care standul descris în capitolul 4 va fi adaptat pentru a ilustra fiecare scenariu printr-o schemă corespunzătoare este prezentat în cele ce urmează.

5.4.1. *Metodă de măsurare a momentului de acționare pentru robinet fără sistem de ocolire, în cazul presiunea fluidului în amonte de robinet este cea de lucru, presiunea în aval și în corpul robinetului este presiunea atmosferică (S1)*

Inițial robinetul principal cu sferă de încercat (1) se află în poziția închis, iar robinetul de reglare situat la capătul conductei aval (7) complet deschis (vezi figura 4.1), astfel încât presiunea în amonte indicată de manometrul (12a) este presiunea de lucru, iar presiunea indicată de manometrele (12b) și (12c), racordate la cavitatea robinetului și respectiv în aval este presiunea atmosferică (vezi figura 4.1 și figura 5.2).

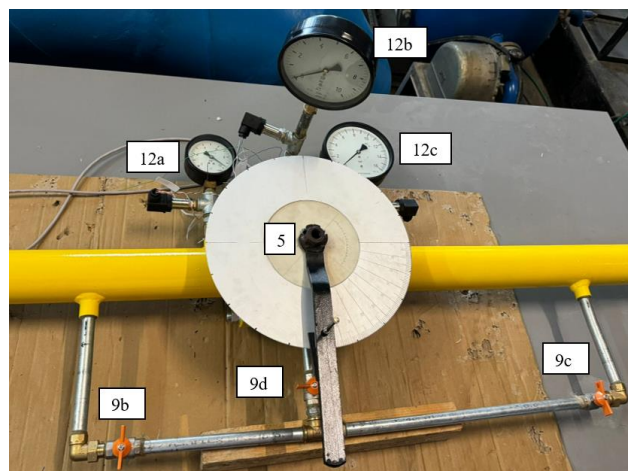


Figura 5.2. Poziția robinetelor secundare pentru încercarea unui robinet fără circulația fluidului prin sistemul de ocolire și cu presiune atmosferică în conducta aval și corpul robinetului (S1).

Dacă valoarea este diferită, se verifică mai întâi dacă robinetul secundar (9b) este în poziția închis și apoi se rotesc robinetele secundare (9c) și (9d) pe poziția complet deschis, eliberând astfel fluidul din interiorul robinetului și din conducta din aval. Odată ce se obține presiunea atmosferică, se închid robinetele secundare (9d) și (9c) și se pot efectua măsurători ale momentului de acționare. Pentru măsurarea propriu-zisă a momentului de acționare se atașează cheia dinamometrică pe piulița special sudată peste levierul robinetului și se rotește încet, urmărind acul indicatorului de pe cheie pentru a afla valoarea indicată în momentul în care tija robinetului și totodată sfera încep să se rotească. Valoarea obținută reprezintă momentul de acționare necesar pentru deschiderea robinetului fără sistem de ocolire, în cazul presiunea fluidului în amonte de robinetul principal este cea de lucru, presiunea în aval este presiunea atmosferică (schema S1)

5.4.2. Metodă de măsurare a momentului de acționare pentru robinet cu sistem ocolire ce face legătura între conducta din amonte robinet către cavitatea interioară a robinetului (S2)

În cadrul acestei măsurători, robinetul principal (5) se află în poziția închis, robinetele de reglare a debitului în aval (6) și (7) complet deschise (vezi figura 4.1). Pentru a realiza schema de funcționare trebuie ca pe conducta din aval la manometrul (12c) să fie afișată valoarea presiunii atmosferice (vezi figura 5.3). În caz contrar, robinetele secundare (9b) și (9d) se țin închise și robinetul secundar (9c) se deschide pentru aerisire și apoi se închide circuitul aval, închizând fie robinetul de reglare (6), fie robinetul de reglare (7). Apoi, pe sistemul de conducte de ocolire, se închide robinetul (9c), urmând apoi să se deschidă robinetele (9b) și (9d), astfel încât presiunea din corpul robinetului și cea din amonte afișată pe cele două manometre (12a) și (12b) să fie identică, iar valoarea presiunii afișate pe manometrul (12c) din aval să fie presiunea atmosferică. În acest moment se poate măsura momentul de acționare a robinetului principal dotat cu un sistem ocolire care face legătura între conducta din amonte robinet către cavitatea interioară a robinetului (schema 2), utilizând cheia dinamometrică prin tehnica prezentată în subcapitolul 5.4.1.

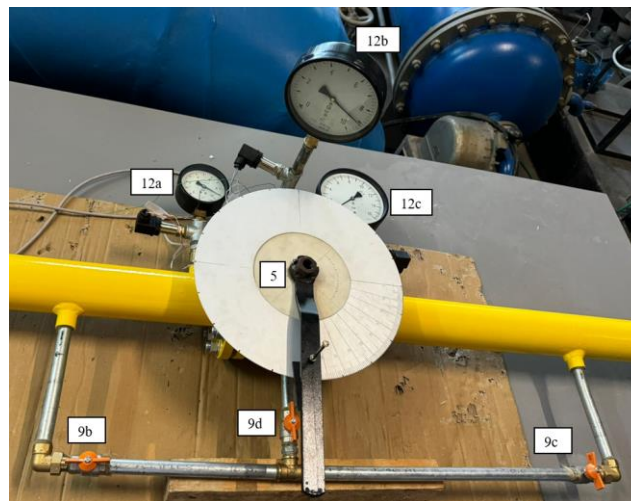


Figura 5.3. Poziția robinetelor secundare pentru încercarea unui robinet cu sistem de ocolire amonte – interiorul corpului robinetului (S2).

5.4.3. Metoda de măsurare a momentului de acționare pentru un robinet cu sistem ocolire ce face legătura între conducta din amonte robinet către conducta aval robinet - bypass clasic (S3)

În cadrul acestei măsurători, robinetul principal (5) se află în poziția închis, robinetele de reglare a debitului în aval (6) și (7) complet deschise (vezi figura 4.1). Se urmărește ca pe manometrul (12b) din corpul principal al robinetului cu sferă principal să fie afișată valoarea presiunii atmosferice. În caz contrar, robinetul (9b) se închide, iar robinetele (9c) și (9d) se deschid pentru ca presiunea din conducta aval și din corpul principal să fie presiunea atmosferică, apoi se închid robinetele de reglare a debitului aval (6) și/sau (7). Pe sistemul de conducte de ocolire se va închide robinetul (9d), urmând apoi să se deschidă robinetul (9b). După ce se constată că presiunea din conducta aval și cea din amonte este identică, iar valoarea presiunii afișate pe manometrul (12b) din corpul robinetului principal este presiunea atmosferică (vezi figura 5.4), se pot efectua măsurători cu cheia dinamometrică pentru a stabili valoarea momentului de acționare necesar deschiderii robinetului cu sistem ocolire care face legătura între conducta din amonte robinet către conducta aval robinet (bypass clasic), utilizând tehnica descrisă în detaliu în subcapitolul 5.4.1.

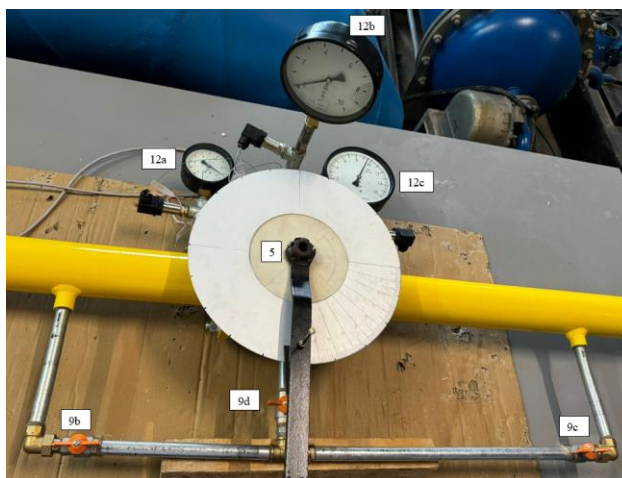


Figura 5.4. Poziția robinetelor secundare pentru încercarea unui robinet cu sistem ocolire care face legătura între conducta din amonte robinet către conducta aval robinet - bypass clasic (S3).

5.4.4. Metoda de măsurare a momentului de acționare pentru robinet cu sistem ocolire ce face legătura între conducta din amonte robinet, cavitatea interioară a robinetului și conducta aval de robinet (S4)

La momentul inițial, robinetul de încercat (5) trebuie să fie complet închis, robinetele de reglare debit aval (6) și/sau (7) complet închise (vezi figura 4.1), iar robinetele de pe sistemul de ocolire (9b), (9d) și (9e) complet deschise (vezi figura 5.6). Valoarea presiunilor indicate pe manometrele (12a), (12b) și (12c) trebuie să fie identică în timpul măsurării momentului de acționare necesar deschiderii robinetului principal cu ajutorul cheii dinamometrice prin tehnica descrisă în subcapitolul 5.4.1.

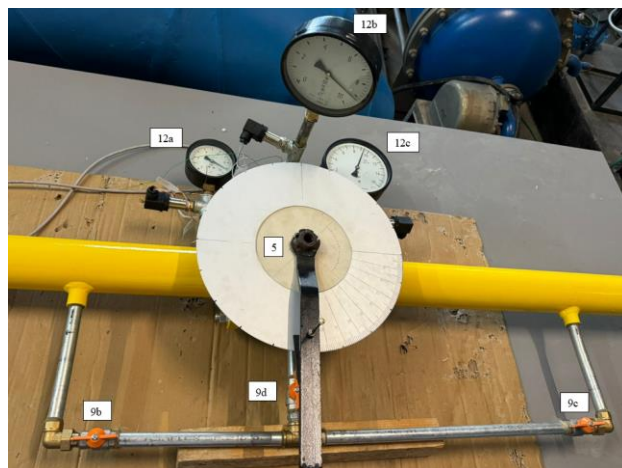


Figura 5.5. Poziția robinetelor secundare pentru măsurarea momentului de acționare pentru un robinet cu sistem ocolire ce face legătura între conducta din amonte robinet, cavitatea interioară a robinetului și conducta aval de robinet (S4).

5.5. Prezentarea și discutarea rezultatelor experimentale

Momentul maxim de acționare a robinetului de încercat DN80 fost măsurat la diferite presiuni de lucru, de la 2 bar până la 9,8 bar, în situațiile de funcționare prezentate anterior. Rezultatele obținute prin 3 serii de teste, câte unul pentru fiecare scenariu sunt prezentate în figura 5.6.

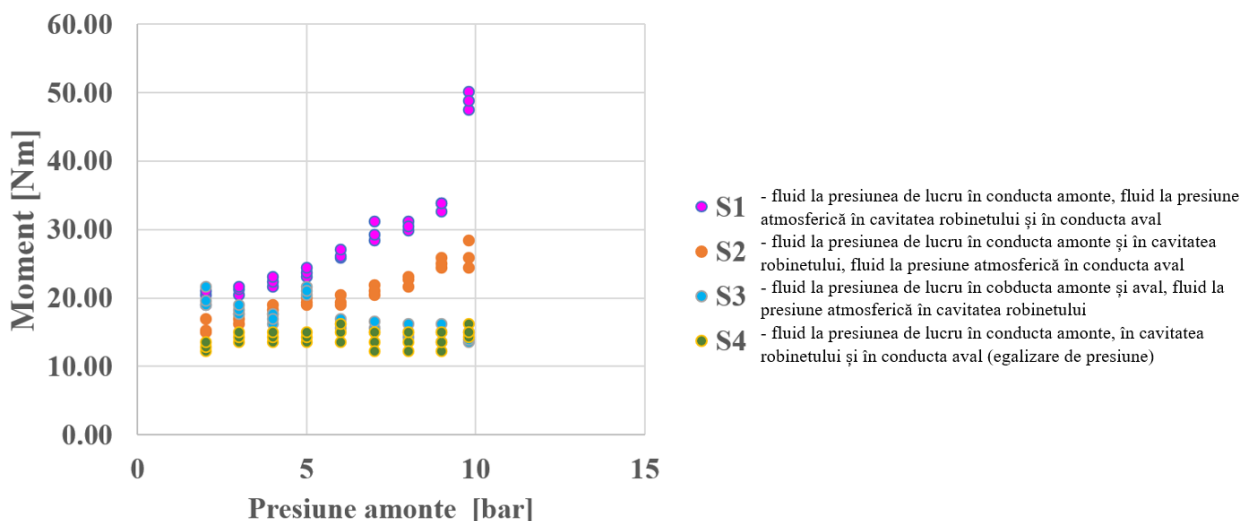


Figura 5.6. Momentul de acțiune pentru robinetul DN80 PN16 în scenariile S1, S2, S3, S4.

Se poate observa că în schema S1, când diferența de presiune între amonte aval este maximă (Δp maxim) apare cea mai mare solicitare asupra etanșărilor și implicit cel mai mare moment de acțiune a robinetului, valoarea maximă de 48.8Nm, fiind înregistrată când în conducta amonte există fluid de lucru cu presiunea 9,8 bar. Valoarea ridicată se explică prin faptul că adițional forței necesare acțiunii sferei date de greutatea proprie, apare o solicitare cauzată de forța exercitată de fluidul de lucru care împinge sfera în scaunul de etanșare din aval, zonă în care nu există contraforță fiindcă valoarea presiunii este egală cu presiunea atmosferică. Fiind o solicitare suplimentară față de situația în care conducta nu ar conține fluid de lucru, se generează forțe de frecare.

Momentul de acțiune scade considerabil în schema S2, când s-a introdus fluid sub presiune în interiorul robinetului principal. Explicația este egalizarea dintre presiunea amonte și cea din interiorul cavității robinetului, ceea ce face ca scaunul din amonte să nu mai împingă sfera flotantă. Există însă o forță generată de diferența de presiune dintre interiorul cavității robinetului și presiunea atmosferică din aval care împinge sfera în scaunul din aval. În concluzie, aplicând schema 2, la deschidere vor exista forțe de frecare cauzate doar de scaunul din aval, însă momentul necesar de acțiune este mai mic decât în schema S1.

Efectuat încercări cu schema (S3) de bypass clasic, se poate obține un moment de acțiune și mai mic, mai ales la presiuni mai mari de 6 bar. Prin egalizarea presiunii din amonte cu cea din aval, se obțin forțe de presiune având practic aceeași valoare, dar care acționează cu semn contrar. În această situație, sfera se va poza într-o poziție simetrică față de capetele robinetului, însă va exista o solicitare pe capetele acesteia cauzată de strângerea scaunelor.

Cel mai mic moment de acțiune se obține în schema S4, când există peste tot aceeași presiune, adică în amonte, aval și cavitățile robinetului. Echilibrarea presiunii în toate cele 3 zone diminuează aproape complet solicitarea suplimentară dată de presiunea fluidului de lucru și momentul de deschidere depinzând practic de greutatea sferei și de forța de frecare dintre componentele în mișcare ale robinetului. În această schemă S4, forțele de frecare produse de scaunul amonte și aval sunt practic neglijabile ceea ce explică valoarea momentelor de acțiune minime obținute în această configurație.

Pe de altă parte din rezultatele experimentale prezentate în acest capitol, se observă pentru o presiune nominală de aproximativ 10 bar se poate reduce momentul de acțiune cu peste 30%, dacă se aplică soluția tehnică S4. Robinetul cu sferă realizat conform ideii inovative are potențial aplicativ ridicat și este o soluție sustenabilă deoarece pe lângă reducerea momentului de acțiune demonstrată prin experimente, se diminuează și uzura elementelor de etanșare prin egalizarea presiunilor. În plus, șocurile periculoase, provocate de diferențele mari de presiune și totodată stricăciunile provocate de impuritățile din fluidul de lucru pot fi evitate.

În industria robinetelor cu gaz din industria energetică deși momentul nominal pentru servomotor este cel necesar pentru deschiderea robinetului la Δp maxim (schema S1), în situațiile de urgență precum izbucnirea unui incendiu într-o conductă de gaz metan, fisurarea/distrugerea totală a unei conducte de transport apă sau eliberarea de urgență a unei cantități de fluid la momentul de preaplin. Se recomandă însă, ca atunci când deschiderea robinetului nu este una ce necesită acțiunea într-un timp foarte scurt să se aplice metoda propusă pentru garanta acțiunea eficientă a robinetului (indiferent dacă este reductor manual, acțiune electrică sau

acționare hidropneumatică), cât și pentru a crește fiabilitatea componentelor interioare ale robinetului precum tija de acționare și, cel mai important, a elementelor de etanșare (sfera și scaunele), care sunt cele uzate în timpul funcționării robinetului cu sferă.

5.6. Concluzii privind diminuarea momentului de acționare

Rezultatele obținute în urma încercărilor efectuate pe standul experimental au demonstrat o scădere considerabilă a momentului maxim de acționare atunci când robinetul dispune de un sistem complex de ocolire prin care se efectuează injectarea fluidului de lucru direct în interiorul robinetului, mai precis între sferă și cavitatea interioară a corpului principal, precum și în aval de robinet. Cercetările au demonstrat că soluția propusă reduce la minim forțele de frecare date de etanșări, atunci când se aplică tehnica de egalizare a presiunilor în amonte de robinet, în interiorul acestuia și în aval.

Ideea inovativă poate fi deosebit de valoroasă în special la robinete de diametre mari funcționând la presiuni mari, deoarece poate conduce la scăderea costurilor pentru echipamentul de acționare și creșterea fiabilității componentelor de etanșare (sferă, scaune) incluzând reducerea cheltuielilor de mentenanță și funcționare mai sigură.

Totodată soluția tehnologică pentru care a fost depusă cererea de brevet poate conferi siguranță personalului uman lucrător în stațiile de reglare și măsurare a gazelor naturale, deoarece se poate realiza o buclă de automatizare, nefiind nevoie de intervenția personală.

În concluzie, scopul validării fizice a conceptului propus prin cererea OSIM A202400042/09.02.2024 a fost atins, ideea propusă funcționează conform așteptărilor. Rezultatele confirmă pe deplin, atingerea nivelului de maturizare tehnologică TRL 3, specific cercetării fundamentale. Mai mult decât atât, modul în care componentele tehnologice de bază sunt integrate este analizat și funcționarea ansamblului este adecvată, ceea ce înseamnă că maturitatea tehnologiei testate cu succes se încadrează deja în categoria TRL4, specifică cercetării ingineresti și este deschisă calea spre următoarele trepte de cercetare aplicativă în vederea realizării și demonstrării prototipului, inclusiv în mediu operațional.

Capitolul VI. Concluzii și contribuții personale

6.1. Concluzii generale

Teza tratează un subiect de mare actualitate și interes, studiul robinetelor cu sferă utilizate în industria energetică, cu precădere în rețelele de transport gaz natural. Teza își propune:

- analiza soluțiilor de proiectare în vederea îmbunătățirea etanșării urmată de creșterea fiabilității;
- studiul curgerii în interiorul robinetului de închidere la deschideri mici, corespunzătoare situației de funcționare specifice procesului de închidere/deschidere;
- propunerea de soluții ce pot reduce uzura, reprezentând modalități de a scădea costurile cu mentenanță periodică pentru elementele de etanșare – sfera și scaunele.

Din stadiul actual al cercetărilor poate fi observat un interes crescut pentru studiul robinetelor cu sferă în vederea formulării de recomandări extrem de utile atât pentru producătorii de robinete cât și pentru stabilirea unor strategii de exploatare aplicabile în industrie. Analiza rezultatelor obținute prin cercetări în domeniu, diseminate prin multiple articole științifice și brevete de invenții evidențiază multitudinea de direcții de cercetare ce au condus la îmbunătățirea robinetelor cu sferă, dar totodată și o serie de aspecte privind direcțiile viitoare de cercetare. Tematica abordată alături de trendul de dezvoltare al industriei producătoare de robinete în ultimii ani, precum și extinderea rețelelor de gaze naturale și nu numai, subliniază faptul că îmbunătățirea robinetelor cu sferă reprezintă un domeniu de cercetare și perfecționare deschis.

Teza propune un algoritm de proiectare a unui robinet cu sferă, însoțit de indicații detaliate privind pașii de urmat, recomandări de dimensionare și alegere a elementelor componente. Importanța practică a acestui demers, în condițiile în care standardele în vigoare nu tratează subiectul robinetelor de diametru mare și se limitează la recomandări de proiectare/alegere doar a componentelor este evidentă.

Analiza prin simulare numerică este o etapă de cercetare frecvent utilizată în ultimii ani. Alături de prezentarea unei serii de rezultate publicate, privind studii efectuate cu CFD asupra robinetelor cu sferă, care evidențiază comportamentul fluidului de lucru în interiorul corpului principal sunt discutate și problemele generate de acest tip de curgere. În continuare, sunt prezentate rezultatele proprii obținute cu simulări numerice efectuate cu software-urile specializate de calcul – SolidWorks 2024 – pe un robinet de diametrul nominal DN500 cu etanșare de tip metal – metal, respectiv ANSYS Fluent 2022 pe alte două robinete unul din categoria DN400 și celălalt DN50, ambele echipate cu etanșare moale de tip PMSS. Rezultatele obținute justifică recomandările

cunoscute privind folosirea robinetelor cu sferă numai fie în poziția închisă fie în poziția total deschis. Consecințele utilizării robinetelor cu sferă, chiar și pe perioade scurte de timp, în poziții intermediare sunt evidențiate. Simulările efectuate în cadrul acestei teze oferă indicii privind ceea ce determină caracteristica neliniară a robinetului cu sferă și evidențiază apariția de solicitări suplimentare asupra componentelor interne în special în zona de etanșare mai ales la presiuni mari de lucru, cauzate cu precădere de vârtejurile care se formează la deschideri mici.

În vederea efectuării de studii experimentale a fost conceput și realizat un stand în departamentul MFMAHP de la Universitatea Tehnică „Gheorghe Asacahi” din Iași, utilizat pentru încercarea unui robinet cu sferă DN80 PN16. Au fost efectuate măsurători privind valoarea presiunii, debitului, vitezei la diferite unghiuri de deschidere, prin intermediul unor traductori de presiune și a unui debitmetru. Pentru o înțelegere mai bună a rezultatelor în special în domeniul unghiurilor mici de deschidere s-au efectuat și simulări numerice a curgerii pentru robinetul încercat. Apoi, standul echipat cu un sistem secundar de conducte de ocolire a fost utilizat și pentru validarea ideii propunerii de invenție, descrisă și analizată d.p.d.v. a rezultatelor obținute experimental în cap. IV.

Lucrarea prezintă include și o parte dedicată prezentării unui robinet cu sistem de conducte de ocolire, pentru care s-a înaintat o cerere de brevet având ca obiectiv scăderea momentului de acționare a robinetului și creșterea rezilienței sistemului de etanșare. Au fost efectuate încercări experimentale pentru diverse scenarii și s-a observat că cea mai mică valoare a momentului de acționare necesar deschiderii robinetului se obține în scenariul care ilustrează configurația descrisă în cererea de brevet de invenție, prin care presiunea amonte, presiunea din cavitatea sferei și presiunea aval au aceeași valoare, atunci când robinetul este complet închis și se dorește aplicarea manevrelor de deschidere. Implementarea soluției propuse poate avea drept consecință și reducerea costului de mentenanță pentru înlocuirea pieselor de schimb ale robinetului datorată acționării facile a robinetului, ceea ce înseamnă solicitări mai mici pentru organele de etanșare dar și pentru celelalte componente care sunt implicate în acționarea robinetului.

6.2. Contribuții originale

Teza prezintă diverse contribuții teoretice, numerice și experimentale, de impact aplicativ relevant pentru dezvoltarea domeniului.

6.2.1. Contribuții teoretice

- A fost realizată o vedere de ansamblu asupra cercetărilor în domeniul soluțiilor de proiectare a robinetelor cu sferă.
- Au fost analizate tehnologii și variante constructive utilizate de producătorii de robinete la nivel internațional, avându-se în vedere cerințele actuale ale pieței în ceea ce privește echipamentele de control a curgerii necesare pentru transportul și distribuția gazului natural.
- S-a efectuat o analiză a stadiului actual referitoare la cercetările existente în ceea ce privește robinetele cu sferă, evidențiind astfel nevoia de îmbunătățire și dezvoltare, dar și caracterul de unicatitate a produselor în special la diametru mare, unde dimensiunile constructive nu sunt standardizate.
- S-au identificat direcții de cercetare ce pot conduce la siguranța în exploatare în condiții de eficiență energetică: studiul metodelor și materialelor de etanșare pentru a avea un risc de scăpări cât mai mic, identificarea de metode privind evitarea blocării robinetelor în poziții complet închis/complet deschis; proiectarea și realizarea de robinete cu sferă, sigure, de greutate redusă, capabile să funcționeze în condiții dificile, și care totodată să fie vandabile la un preț competitiv cu variante mai puțin performante.
- A fost propus un algoritm de proiectare a robinetelor cu sferă, ce conține recomandări de dimensionare și/sau de alegere a componentelor pentru a răspunde cerințelor beneficiarilor, în special a celor interesați de produse personalizate pentru a fi adecvate condițiilor speciale de funcționare.
- A fost conceput și proiectat un stand experimental utilizabil pentru încercarea unui robinet cu sferă cu și fără sistem de conducte de ocolire, stand alimentat cu aer comprimat și echipat cu manometre clasice, precum și cu dispozitive de măsură și monitorizare a presiunii și a debitului utilizând traductoare.
- A fost elaborată o cerere de brevet de invenție A 2024 00042, care propune echiparea robinetelor cu sferă de dimensiuni mari cu un sistem de ocolire ce conduce la diminuarea momentului de acționare în timpul manevrelor de deschidere/închidere.
- S-a explicat de manieră convingătoare modul în care prin aplicarea conceptului propus prin cererea de invenție sus-menționată se poate obține diminuarea uzurii elementelor de etanșare și creșterea siguranței în funcționare a robinetelor cu sferă, contribuții ce pot genera un impact deosebit în mediul industrial.

6.2.2. Contribuții privind simulările numerice

- Au fost analizate articole publicate în reviste de specialitate bazate pe cercetări efectuate utilizând simulări CFD în vederea stabilirii stadiului actual și cristalizarea direcțiilor de cercetare de abordat în teza prezentă.
- S-a realizat sinteză o documentară teoretică privind metodologia și parametrii de lucru adecvate studiului curgerii prin robinete utilizând programe de tip CFD.
- S-au efectuat simulări privind curgerea fluidului utilizând programul SolidWorks Fluid Flow 2023, într-o aplicație ce vizează un robinet cu sferă DN500 cu etanșare de tip metal-metal la presiunea nominală de 63 bar, obținându-se câmpul de viteze și presiuni în interiorul robinetului.
- S-a arătat prin simulare numerică efectuată cu SolidWorks că scaunul din amonte este cel mai expus la efecte distructive prin impactul cu fluidul de lucru.
- Simularea robinetului cu sferă cu un unghi de deschidere nul demonstrează importanța implementării tipului de scaun DPE pentru o bună etanșare a robinetelor de diametre mari. Unii furnizori folosesc un design SPE pentru scaunele din amonte, deoarece sunt mai ieftine. Din nefericire, o astfel de etanșare permite trecerea unor particule. Lipsa scaunelor DPE în aval, conduce la eliberarea de particule de fluid în conductă, ceea ce este inacceptabil pentru gazul natural utilizat ca și fluid de lucru.
- Simulările efectuate cu SolidWorks au arătat că doar câteva particule de fluid sub presiune reușesc să traverseze cavitatea internă a corpului principal în poziția complet închis, când se utilizează robinete cu sferă de tip trunion cu un design MM DPE (Metal-Metal Double Piston Effect) pentru scaune.
- Sunt aduse argumente puternice, bazate pe simulări numerice folosind proiectul unui robinet real privind importanța utilizării scaunelor bidirecționale MM DPE pentru etanșarea robinetelor cu sferă de dimensiuni mari, în conducte de transport a gazului natural la presiuni înalte, deoarece spre deosebire de robinetele cu etanșare de tip PMSS, acest tip de etanșare cu scăpări practic inexistente este adecvat izolării tronsoanelor de conducte de gaz care sunt în flăcări și pot opri propagarea în tronsoanele învecinate, pentru o perioadă suficient de mare de timp.
- Utilizând un alt program de calcul, ANSYS Fluent 2022 s-a efectuat o analiză numerică a curgerii prin robinete cu sferă având etanșare din materiale elastice cu scaune de tip PMSS (Primary Metal Secondary Soft Sealing), pentru un robinet DN400 și un robinet DN50, ambele funcționând la o presiune înaltă, 100 bar, în vederea efectuării unui studiu comparativ al curgerii între un robinet de diametru mare și unul din categoria de diametru mediu.
- Din analiza comparativă a robinetelor studiate cu programul ANSYS a rezultat printre altele că deși presiunea este aceeași, robinetul de diametru mare este supus unei uzuri mai intense datorate vârtejurilor de dimensiuni mai mari și impactului pe care îl produc asupra elementelor de etanșare PMSS, la unghiuri mici de deschidere.
- Cele două programe de calcul identifică poziția zonelor în care apar căderi semnificative de presiune, și anume zonele de etanșare din amonte și aval, ceea ce arată că aici există risc maxim de eroziune.
- D.p.d.v practic, simulările au permis argumentarea recomandării tehnice de a utiliza robinetele cu sferă, numai în poziția închis sau deschis, prin demonstrarea faptului că utilizarea în poziții intermediare expune etanșările la uzură intensă și implicit la dificultăți în managementul tehnic al sistemului de conducte, cauzat de funcționarea în condiții de siguranță din ce în ce mai reduse pe termen lung.
- S-au efectuat simulări numerice cu programul ANSYS pentru robinetul DN80 studiat experimental pe standul conceput în acest scop și s-a constatat că există curgere instabilă la deschideri mici, sub 20° cu formarea de vârtejuri și creșterea vitezei de circulație, însă fără a se depăși domeniul de curgere subsonic, rezultate validate prin observațiile privind împrăștierea datelor reprezentând rezultatele experimentale obținute la unghiuri mici de deschidere.

6.2.3. Contribuții privind studiile experimentale

- S-a construit un stand experimental realizat printr-o asamblare demontabilă, cu conducte principale DN80 prinse în amonte și în aval cu flanșe de robinetul de încercat, astfel încât standul să poată fi dezvoltat și pentru alte configurații. Circulația fluidului de lucru (aer) se poate modifica în timpul testelor printr-o serie de robinete auxiliare având rol de reglare a debitului. Pe sistemul principal de conducte au fost sudate mufe de dimensiuni G1/4 pentru conectarea aparatelor de măsură inclusiv traductoare conectate la un sistem de monitorizare în timp real, alcătuit în principal dintr-o placă de dezvoltare de tip Arduino și dezvoltarea unei aplicații realizate în Python pentru interpretarea datelor de intrare.

- A fost realizat un sistem secundar de conducte de ocolire DN15 conectat prin mufe sudate G1/2 la sistemul principal de conducte, care conține robinete secundare ce permit realizarea de diferite scenarii de funcționare, inclusiv realizarea configurației cu aport de fluid de lucru în cavitatea interioară a robinetului în conformitate cu cererea de brevet de invenție A 2024 00042 depusă în februarie 2024.
- Partea superioară a robinetului de încercat a fost echipată cu accesorii ce permit măsurarea momentului necesar deschiderii cu ajutorul unei chei dinamometrice în diverse configurații și măsurarea unghiului de deschidere cu ajutorul unui ecran gradat.
- Menținând presiunea de lucru aprox. constantă, au fost efectuate măsurători ale debitelor la unghiuri mici de deschidere cu pas de măsură de 2°, pentru a focaliza cercetările asupra caracteristicii robinetului cu sferă DN80 la unghiuri de deschidere sub 20°, pentru valori ale presiunii relative 2 bar, 4 bar, 6 bar, 9 bar.
- În urma analizei rezultatelor experimentale privind funcționarea robinetului cu sferă la unghiuri mici de deschidere s-au constatat următoarele:
 - reducerea debitului la valoarea de 95% din valoarea debitului nominal apare la unghiuri de deschidere de sub 12° - 18° funcție de valoarea presiunii de lucru și apoi devine abruptă, astfel încât la unghiuri de deschidere de sub 8° - 9°, practic circulația fluidului este oprită;
 - după depășirea unghiului de deschidere de 20°, valoarea debitului se menține aproximativ constantă, indiferent de unghiul de deschidere a robinetului;
 - funcționarea robinetului cu sferă se efectuează cu fenomene de histerezis la unghiuri de deschidere de sub 30°, debitul obținut la închidere fiind în general mai mic decât debitul obținut la deschidere pentru valori măsurate la același unghi;
 - la încercarea robinetului cu sferă la presiuni de maxim 9,5 bar și debite de maxim 75 m³/h nu au fost remarcate fenomene, zgomote specifice trecerii de la curgere subsonică la curgere supersonică;
 - creșterea presiunii de încercare a robinetului cu sferă este însoțită de îngustarea plajei de valori a unghiurilor de deschidere în cadrul căruia debitul scade de la 95% din debitul nominal până la oprirea circulației fluidului de lucru.
- S-au efectuat experimente pentru diverse configurații ale sistemului de ocolire ce ilustrează deschiderea robinetului cu sferă DN80 în diverse scenarii: fără sistem de ocolire și presiunea atmosferică în cavitatea sferei și pe conducta principală din aval de robinetul de încercat (scenariul S1), cu sistem de ocolire dinspre conducta principală amonte către cavitatea sferei (scenariul S2), cu sistem clasic de bypass ce face legătura între conducta principală amonte și conducta principală din aval (scenariul S3), cu sistem de ocolire dinspre conducta principală amonte către cavitatea sferei precum și către conducta principală aval de robinetul de încercat (scenariul S4).
- S-a validat experimental la nivel TRL4 (validarea componentelor și/sau a ansamblului în condiții de laborator) conceptul propus prin cererea de brevet de invenție nr. A202400042/09.02.2024 prin analiza rezultatelor experimentale care au avut ca obiectiv determinarea momentelor de acționare în diverse configurații ale sistemului de conducte secundar de ocolire.

6.3. Direcții viitoare de cercetare

Rezultatele obținute în această teză pot deschide noi direcții de cercetare în domeniul robinetelor cu sferă

prin :

1. Extinderea cercetări experimentale privind soluția propusă în cererea de brevet, prin implementarea unui sistem automat de egalizare a presiunilor amonte, în cavitatea robinetului și în aval, sistem care să intre în funcțiune fără intervenția personalului uman înainte de manevrarea robinetului principal, utilizând pe circuitul de ocolire robinete acționate electric sau pneumatic printr-un panou de control.
2. Extinderea cercetărilor experimentale privind robinetele cu sferă, inclusiv cel cu sistem de ocolire propus prin alte tipuri de teste, după cum urmează: testarea de tip Fire safe specifică conductelor de gaz metan supuse riscului de incendiu; testarea antistatică; efectuarea de probe de presiune atât având ca și fluid de lucru atât apa cât și aer comprimat conform standardizării în vigoare privind etanșeitatea.
3. Atingerea nivelului de cercetare TRL5 prin stabilirea momentului maxim de acționare și efectuare unor teste specifice robinetelor cu sferă pentru un robinet de diametru mare (peste DN400), într-o întreprindere specializată cu echipamente de precizie ridicată, în condiții relevante de funcționare (mediu industrial).

4. Efectuarea de calcule tehnico-economice în vederea identificării de soluții inedite, ce pot scădea prețul final al produsului finit prin reducerea greutateii sau a tehnologiei de prelucrare, păstrându-se sau chiar îmbunătățindu-se funcționalitatea și reziliența componentelor.

Listă de lucrări publicate

1. Ivancu Laurențiu-Ioan, & Daniela Popescu. (2023). *Investigation of the Fluid Flow in a Large Ball Valve Designed for Natural Gas Pipelines*. Applied Sciences 13.7, 4247, DOI: 10.3390/app13074247 (WoS, categoria Q1, impact factor 2,5).
2. Ivancu Laurențiu-Ioan, & Daniela Popescu. (2022). *Design Solutions for Large Size Ball Valves*. Bul. Inst. Politeh. Din Iași 68, 51-59, DOI: 10.2478/bipcm-2022-0014 (Google Scholar, ICV 78,26).
3. Ivancu Laurențiu-Ioan, & Daniela Popescu. (2023). *Study on the Impact of Natural Gas Pressure on the Components of a Ball Valve*. 11th International Conference on Energy and Environment (CIEM), DOI: 10.1109/CIEM58573.2023.10349751 (SCOPUS, IEEE).
4. Ivancu Laurentiu, Popescu Daniela, (2024). *Robinet sferă cu sistem exterior de ocolire*. Cerere OSIM nr. A202400042/09.02.2024.

Bibliografie selectivă

1. ACER. (2023, 02 03). Retrieved from European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators: <https://www.acer.europa.eu/gas-factsheet>
2. *Allied Market Research*. (2022, 05 03). Retrieved from Allied Market Research: <https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-valves-market>
3. Anda Z., Dongshan D., Xin L., & Zincheng Z. (2020). *China Patent No. CN210218758U*.
4. Ansys. (2022). *Ansys Fluent Theory Guide*. Ansys Inc. Southpointe 2600 Ansys Drive Canonsburg PA 15317, 59-69.
5. API 6D. (2014). *API - American Petroleum Institute - 6D - Specification for Pipeline Valves*.
6. Arduino Datasheet. (2024, 06 24). *Arduino UNO R3 Datasheet*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
7. Balma Catalogue 2017. (2024, 05 13). *Balma*. Retrieved from https://www.balma.com/content/dam/brands/ABAC/balma/BALMA%20catalogue%202017_EN-FR_LR_6999990240ENFR.pdf
8. Bao M., Xie Y., Zhang G., Wang Y., LV K., & Shan K. (2023). Research on hydrodynamic characteristics and performance improvement of ball valve integrating fluid regulation and energy harvesting. *Renewable Energy* 218, 119340.
9. Bo Y., Lequan H., Xiujuan Y., Junfeng Y., & Xishun H. (2020). *China Patent No. CN210240757U*.
10. Cui, B., Lin, Z., Zhu, Z., Wang, H., & Ma, G. (2017). Influence of opening and closing process of ball valve on external performance and internal flow characteristics. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 80, 193-202.
11. Dongshan D., Anda Z., Xin L., & Ancheng Z. (2020). *China Patent No. CN210218759U*.
12. European Comision. (2023, 02 06). Retrieved from A Plan to Rapidly Reduce Dependence on Russian Fossil Fuels and Fast forward the Green Transition: https://neighbourhood-enlargement.ec.europa.eu/news/repowereu-plan-rapidly-reduce-dependence-russian-fossil-fuels-and-fast-forward-green-transition-2022-05-18_en
13. EUROSTAT. (2023, 02 03). Retrieved from Natural Gas Supply Statistics. Consumption Trends: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_supply_statistics#Consumption_trends (accessed on 3 February 2023)
14. Gaz de România. (2022, 11 12). *Rolul-cheie al hidrogenului în noua economie a emisiilor de carbon net-zero*. Retrieved from <https://www.gazderomania.ro/rolul-cheie-al-hidrogenului-in-noua-economie-a-emisiilor-de-carbon-net-zero/>
15. Gefran KS Datasheet. (2024, 05 16). *Gefran*. Retrieved from <https://doc.gefran.com/download/?type=product&id=14717&lang=en>
16. Global Energy Monitor. (2023, 02 03). *Eastring pipeline*. Retrieved from https://www.gem.wiki/Eastring_Pipeline

17. Hanguang W., Xianchang L., Guoyong C., Shuyuan L., & Yongdong Q. (2020). *China Patent No. CN210218772U*.
18. IFM SD6500 Datasheet. (2024, 05 13). *ifm*. Retrieved from <https://www.ifm.com/ro/ro/product/SD6500?tab=documents>
19. ISO 14313. (2007). Petroleum and Natural Gas Industries—Pipeline Transportation Systems—Pipeline Valves.
20. ISO 5208. (2015). Industrial Valves—Pressure Testing of Metallic Valves. *ISO: Geneva*.
21. ISO 5211. (2017). *Industrial valves - Part turn actuator attachments*.
22. Iulian C., Dorin O., & Doru B. (1993). *România Patent No. 108192B1*.
23. Ivancu Laurențiu-Ioan, & Daniela Popescu. (2023). Investigation of the Fluid Flow in a Large Ball Valve Designed for Natural Gas Pipelines. *Applied Sciences* 13.7, 4247.
24. Ivancu Laurențiu-Ioan, & Daniela Popescu. (2023). Study on the Impact of Natural Gas Pressure on the Components of a Ball Valve. *11th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM)*.
25. Ivancu Laurențiu-Ioan, & Daniela Popescu. (2024). *România Patent No. A202400042/09.02.2024*.
26. Ivancu, L.-I., & Popescu, D. (2022). Design Solutions for Large Size Ball Valves. *Buletinul institutului Politehnic din Iași*, 51-59.
27. Jia, M., Li, Z., Jia, L., & Liu, J. (2021). Structural optimization of V-sector valve cores and adaptability in secondary heating networks. *Flow Meas. Instrum.* 81, 102032.
28. Jie W., Hang L., & Jianshuai X. (2020). *China Patent No. CN210218770U*.
29. Jinxiang S., Hui H., & Huitao Z. (2019). *China Patent No. CN209294460U*.
30. Kang H., Cheng P., Yu Z., & Zheng H. (2015). A two-stage traveling-wave thermoacoustic electric generator with loudspeakers as alternators. *Applied Energy* 137, 9-17.
31. Liu Q., Tian S., Lin Z., & Zhu Z. (2022). Effect of the converge flow conditioner on rectifying eccentric jet flow induced by a ball valve. *Flow Measurement and Instrumentation* 83, 102091.
32. Luo G., Zheng Z., Ning L., Tan Z., Tong J., & Liu E. (2020). Failure analysis of AISI 316L ball valves by salt bath nitriding. *Engineering Failure Analysis* 111, 104455.
33. Market Observatory for Energy. (2023, 02 03). Retrieved from Energy: <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-01/Quarterly%20report%20on%20European%20gas%20markets%20Q3%202022.pdf>
34. Masao T., & Yuji T. (2020). *Japonia Patent No. JP2020026835A*.
35. Mediafax. (2023, 01 29). *Pas decisiv pentru exploatarea gazelor de la Marea Neagră. România construiește o conductă de transport gaze naturale pe direcția Tuzla-Podișor*. Retrieved from <https://www.mediafax.ro/politic/pas-decisiv-pentru-exploatarea-gazelor-de-la-marea-neagra-romania-construieste-o-conducta-de-transport-gaze-naturale-pe-directia-tuzla-podisor-21700614>
36. Ming-Jyh Chern, C.-C. W.-H. (2007). Performance test and flow visualization of ball valve. *Experimental Thermal and Fluid Science* 31, 505-512.
37. Qin L., Li T., Shi M., Cao Z., & Gu L. (2023). Internal leakage rate prediction and unilateral and bilateral internal leakage identification of ball valves in the gas pipeline based on pressure detection. *Engineering Failure Analysis* 153, 107584.
38. Ren R., Su T., Ma F., Zhao X., Xu C., & Wu X. (2023). Influence of the flow area around the ball valve on the flow characteristics of the injector control valve. *Flow Measurement and Instrumentation* 90, 102333.
39. Shi, X. (2020). *China Patent No. CN210240641U*.
40. Soares A., Martins N., & Covas D. (2015). Investigation of transient vaporous cavitation: experimental and numerical analyses. *Procedia Engineering* 119, 235-242.
41. Song, X., Kim, S., Baek, S., & Park, Y. (2009). Structural optimization for ball valve made of CF8M stainless steel. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 19, 258-261.
42. Sotoodeh K. (2021). Why packing adjustment cannot stop leakage: Case study of a ball valve failing to seal after packing adjustment during fugitive emission as per ISO 15848-1. *Engineering Failure Analysis* 130, 105751.
43. Tabrizi, A., Asadi, M., Xie, G., & Lorenzini, G. (2014). Computational fluid-dynamics-based analysis of a ball valve performance in the presence of cavitation. *J. Eng. Thermophys*, 27-38.

44. Titheradge P., & Robergs R. (2020). Static and dynamic performance of a venturi airflow sensor. *Flow Measurement and Instrumentation* 73, 101725.
45. Transgaz. (2023, 01 30). *Planul de dezvoltare asistemului național de transport gaze 2021-2030*. Retrieved from <https://www.transgaz.ro/sites/default/files/PDSNT%202021-2030.pdf>
46. Tverskoy M., Andrianov V., & Sokolov A. (2017). Creating New Generation of Actuators for Shut-off and Control Ball Valves with Double-Gate. *Procedia Engineering* 206, 1303-1308.
47. Wei S., Lee M., Huang J., Lu Y., Kang C., Kao S., & and others. (2022). Demonstration of tethered hovering flight of HTTP-3AT hybrid rocket. *Acta astronautica* 191, 279-292.
48. Wubo J., Donghua S., & Yanzhen Z. (2020). *China Patent No. CN210240637U*.
49. Z. Lin, H. Yu, T. Yu, & Z. Zhu. (2022). Numerical study of solid–liquid two-phase flow and erosion in ball valves with different openings. *Advanced Powder Technology*, Vol. 33, 103542.
50. Z. Lin, J. Li, Z. Jin, & J. Qian. (2021). Fluid dynamic analysis of liquefied natural gas flow through a cryogenic ball valve in liquefied natural gas receiving stations. *Energy*, Vol. 226, 120376.
51. Zhao Z., Gao X., & Liu Y. (2024). The optimized design of a ball valve with large stroke and high precision. *Flow Measurement and Instrumentation* 96, 102545.
52. Zhendao Y., & Tong L. (2020). *China Patent No. CN210218757U*.
53. Zheng F.J., Zong Y. C., Li Y.Q., Qu Z. F., & Song X. G. (2021). An experimentally validated multifidelity hybrid model for analyzing the pressure variation of a relief system. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 191, 104315.