



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din
BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ INGINERIE
ENERGETICĂ



REZUMAT TEZA DE DOCTORAT:

**CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE ASUPRA
COMPRESOARELOR CU ȘURUB, CU INJEȚIE DE ULEI**

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH ON OIL
INJECTED SCREW COMPRESSORS**

Autor: CS. III ing. Sorin-Gabriel GH. TOMESCU

Conducător de doctorat: Prof.em.dr.ing. Dan Niculae ROBESCU

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte.	Prof.dr.ing. Radu Florin PORUMB	Universitatea "POLITEHNICA" din București
Conducător științific	Prof.em.dr.ing. Dan Niculae ROBESCU	Universitatea "POLITEHNICA" din București
Referent	CS.I dr.ing. Valentin SILIVESTRU	INCD Turbomotoare COMOTI
Referent	Conf.dr.ing. Diana Maria BUCUR	Universitatea "POLITEHNICA" din București
Referent	Prof.dr.ing. Valentin PETRESCU	Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu

**BUCUREȘTI,
2023**

CUPRINS

MULȚUMIRI	3
INTRODUCERE	4
MOTIVAȚIA TEMEI ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	5
NOTAȚII ȘI SIMBOLURI	6
CAPITOLUL 1. PREZENTAREA PRINCIPALEOR CARACTERISTICI FUNCȚIONALE ALE COMPRESOARELOR CU ȘURUB.....	7
CAPITOLUL 2. PREZENTAREA SISTEMELOR DE SEPARARE GAZ-ULEI DIN ECHIPAREA ANSAMBLURILOR COMPRESOARE CU ȘURUB	8
CAPITOLUL 3. ANALIZA EXPERIMENTALĂ UNUI SISTEM CONVENȚIONAL DE SEPARARE GAZ ULEI.....	10
3.1. Determinarea conținutului rezidual de ulei la ieșirea din vasul separator.....	10
3.2. Determinarea experimentală a caracteristicilor picăturilor de ulei aflate în suspensie în gazul comprimat.....	14
CAPITOLUL 4. ANALIZA NUMERICĂ ȘI EXPERIMENTALĂ A SISTEMULUI EFICIENT DE SEPARARE (SEP)	18
4.1. Modelarea curgerii prin sistemul eficient de separare gaz-ulei	21
4.1.1. Modelarea curgerii prin sistemul de separare variantele 1 și 2	22
4.1.2. Modelarea curgerii prin sistemul de separare varianta 3	29
4.2. Prezentarea etapei de proiectare și execuție a soluției constructive	34
4.3. Cercetări experimentale asupra sistemului eficient de separare gaz ulei	36
CAPITOLUL 5. EFICIENTIZAREA ENERGETICĂ A INSTALAȚIILOR DE COMPRIMARE A GAZULUI UTILIZÂND ECHIPAMENTE VOLUMICE.	46
CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE ȘI DIRECȚII DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ.	47
6.1. Concluzii generale.	47
6.2. Contribuții personale.	48
6.3. Direcții de dezvoltare ulterioară.	49
LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE.....	50
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.	53
Cuvinte cheie: compresor cu șurub, injecție de ulei, separator gaz-ulei, demister, recuperare ulei, eficiență	

Mulțumiri

Teza de doctorat intitulată „Cercetări teoretice și experimentale asupra compresoarelor cu șurub, cu injecție de ulei” este rezultatul cercetărilor realizate de autor în perioada 2018-2023. Selecția temei de doctorat este o consecință a activității autorului în domeniul cercetării-dezvoltării de compresoare elicoidale cu injecție de ulei și a identificării unor elemente funcționale care au necesitat îmbunătățire și optimizare.

Sub coordonarea autorului, inginer în cadrul INCD Turbomotoare COMOTI, a fost conceput, dezvoltat și experimentat un sistem de separare optimizat, cu performante reale îmbunătățite față de alte sisteme existente utilizate. Sistemul performant dezvoltat poate intra în echiparea aplicațiilor nou dezvoltate, dar mai ales poate înlocui sisteme montate anterior, cu performanțe reduse, care sunt deja puse în funcțiune.

Mulțumesc conducătorului științific, domnul Prof.em.dr.ing Nicolae Dan ROBESCU, pentru modul în care m-a îndrumat și susținut de-a lungul perioadei de cercetare doctorală. Fără sprijinul dumnealui nu aș fi putut realiza această teza de doctorat.

Adresez și înaintez sincere mulțumiri membrilor comisiei de îndrumare:

Prof. dr. ing. Lăcrămioara Diana ROBESCU ,

CS. I. dr.ing. Gheorghe FETEA,

Prof.dr.ing. Carmen GEORGESCU,

Ș.I. dr. ing. Corina BONCESCU,

CS. I. dr.ing. Radu MIHALACHE, pentru recomandările și sugestiile constructive oferite pentru organizarea și prezentarea rezultatelor cercetării doctorale.

Mulțumesc pentru suportul logistic oferit de Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Turbomotoare COMOTI, suport ce a contribuit substanțial și decisiv la obținerea rezultatelor și susținerea acestei teze de doctorat.

Mulțumesc tuturor colegilor din cadrul COMOTI care au contribuit la obținerea simulărilor numerice și rezultatelor experimentale.

În încheiere, doresc să adresez mulțumiri soției, fetiței și familiei mele pentru susținerea necondiționată, sprijinul moral, înțelegerea și răbdarea manifestate în mod constant pe parcursul derulării cercetării doctorale.

În speranța că rezultatele acestei cercetări doctorale să aibă un impact semnificativ în domeniul de cercetare și să contribuie la dezvoltarea de noi soluții inovatoare pentru problemele de funcționare ale compresoarelor cu șurub, cu injecție de ulei.

Introducere

Necesitatea comprimării aerului și a altor gaze de lucru a dus la apariția compresorului, iar conceptul și forma acestuia au evoluat perpetuu, pe măsură ce aplicațiile în care a fost utilizat au devenit din ce în ce mai diversificate și complexe. Primul compresor întrebuițat poate fi considerat burduful realizat din pielea animalelor, care servea la comprimarea și suflarea aerului. Acest sistem era acționat prin mânăre sau printr-un sistem de pârghii - foale. Există informații că aceste dispozitive au început să fie folosite încă cu anul 3000 î.e.n [23].

Astăzi, compresoarele sunt utilizate în toate aspectele vieții, în aplicațiile casnice, în sistemele de refrigerare, în aplicațiile medicale și industrie, etc. Ponderea cea mai mare de utilizare a compresoarelor este în industrie, unde sunt aplicate pentru comprimarea aerului, a agenților frigorifici și a gazelor combustibile. Aplicațiile compresoarelor sunt multiple, capacitatea, presiunea și natura gazului comprimat depinzând de natura aplicației și de cerințele specifice ale procesului tehnologic de lucru.

Ca în orice domeniu al tehnicii, preocupările curente sunt centrate pentru dezvoltarea și realizarea de compresoare mai eficiente, robuste, cu perioade de operare între revizii cât mai lungi și timpi de mentenanță și oprire mici. În general, compresoarele au atins maturitatea tehnică, îmbunătățirile randamentelor și performanțelor fiind mici în raport cu volumul de cercetare-dezvoltare depus.

Începând cu anul 2010 Institutul National de Cercetare-Dezvoltare Turbomotoare COMOTI proiectează și produce o gamă largă de soluții de comprimare, atât unități de comprimare dar și ansambluri de comprimare echipate cu compresoare cu șurub cu injecție de ulei.

Ca rezultat al unei activități intense de cercetare aplicativă cu rezultate apreciabile, INCD Turbomotoare Comoti a devenit de mai mulți ani un important producător de grupuri de comprimare gaz natural [17], echipate cu compresoare cu șurub cu injecție de ulei. INCDT COMOTI este singura entitate din România care dezvoltă compresoare cu șurub și grupuri de comprimare gaz natural, echipate cu compresoare cu șurub cu injecție de ulei.

Soluția primului electrocompresor cu șurub a fost dezvoltată într-un proiect de cercetare aplicativă, finanțat din fonduri naționale de cercetare în perioada 2000-2003. S-a realizat un prototip care a fost testat și omologat în regim de funcționare industrială într-o stație de comprimare gaze asociate cu țiteiul [24]. Programul intitulat „Echipament de comprimare și recuperare a gazelor naturale ce însoțesc petrolul la sondele de extracție”, s-a bucurat de un real succes, fiind recunoscut și recompensat prin câștigarea premiului Agir în 2005 la secțiunea Ingineria construcțiilor de mașini [24].

Domenii de utilizare ale ansamblurilor de comprimare cu șurub, cu injecție de ulei sunt, printre altele [24]:

- Comprimarea aerului, agenților frigorifici sau a gazelor combustibile (gaz metan, hidrogen, etc);
- Stațiile de extracție gaze naturale și petrol, în vederea transportului sau condiționării gazelor de proces;

- Alimentarea cu gaze combustibile a turbinelor cu gaze sau a motoarelor cu ardere internă- boostere pentru aplicații de cogenerare - CHP;
- Industria petrochimică sau ale aplicații industriale.

În general, compresoarele cu șurub, dezvoltate de COMOTI sunt utilizate în aplicații de comprimare a gazelor combustibile precum gazul natural și gazul de sondă. Condițiile de funcționare ale compresoarelor în aceste aplicații pot fi deosebit de grele din cauza agresivității chimice și mecanice ale gazelor de comprimat, care pot prezenta în compoziție suspensii solide sau fracții lichide precum apă sau gazoline. De asemenea, în componența gazului comprimat pot exista compuși care intră în reacții chimice în anumite condiții de temperatură și presiune, generând probleme complexe de funcționare precum: contaminarea uleiului, înfundarea filtrelor și a sistemelor de separare și altele.

Considerând aceste condiții de funcționare, sistemele de separare gaz-ulei pentru aplicațiile din industria de petrol și gaze, diferă substanțial față de cele utilizate în aplicațiile de comprimare aer sau alte gaze curate, solicitând proiectare și construcție specială pentru a avea un comportament optim în exploatare, asigurând funcțiile pentru care a fost dezvoltat, pentru o perioadă de funcționare de cel puțin 4000 de ore.

Motivația temei și obiectivele tezei de doctorat

Teza de doctorat se înscrie pe linia cercetărilor moderne în domeniul compresoarelor elicoidale (cu șurub), cu injecție de ulei, compresoare care sunt în scopul de cercetare-dezvoltare a multor colective de lucru din institute și universități. Cercetările teoretice și experimentale prezentate în cadrul tezei se încadrează în problematica particulară de funcționare a compresoarelor cu șurub cu injecție de ulei, aceea de separare a uleiului din gazul comprimat prin intermediul unui compresor cu șurub, cu injecție de ulei.

Teza de doctorat are ca obiectiv general cercetarea, dezvoltarea și experimentarea unui sistem eficient de separare gaz-ulei pentru echiparea unui ansamblu de comprimare cu șurub, cu injecție de ulei, asigurând performanțe reale îmbunătățite față de sisteme similare, cu aplicare imediată în mediul industrial și în gama de producție de serie a INCD Turbomotoare COMOTI.

Scopul principal al cercetării doctorale efectuate este acela de a dezvolta un sistem eficient de separare gaz- ulei, compact și eficient economic, capabil să crească gradul de recuperare a uleiului aflat în suspensie în gazul refulat de un compresor cu șurub cu injecție de ulei. Pentru demonstrarea funcționalității și stabilirea performanțelor globale vor fi realizate cercetări teoretice și experimentale asupra curgerii amestecului - gaz comprimat, amestecat cu picături de ulei, în interiorul vasului separator, din componența ansamblurilor de comprimare, echipate cu compresor cu șurub, cu injecție de ulei.

Obiectivele specifice ale cercetării doctorale:

- i. Stabilirea necesității eficientizării funcționării sistemului de separare gaz-ulei din echiparea ansamblului de comprimare cu șurub, cu injecție de ulei
- ii. Prezentarea problemelor specifice care apar în cazul sistemelor de separare gaz comprimat-ulei. Analiza aprofundată a sistemelor de separare disponibile pe piață;
- iii. Implementarea unei metode eficiente economic, prin intermediul căreia se poate determina conținutul rezidual de ulei în gazul comprimat, exprimat în ppm, la ieșirea dintr-un sistem de separare;
- iv. Evaluarea experimentală a unui sistem de separare convențional pentru stabilirea performanțelor globale;
- v. Stabilirea cerințelor funcționale ale sistemului eficient de separare;
- vi. Proiectarea sistemului eficient de separare astfel încât să poată fi instalat în cadrul unor ansambluri de comprimare existente cât și în cadrul aplicațiilor noi;
- vii. Validarea geometriei treptelor de separare, utilizând programe de calcul CFD;
- viii. Trasarea, prin cercetări experimentale, a performanțelor globale ale sistemului eficient de separare: eficiență separare, cădere de presiune;
- ix. Realizarea unor experimente pentru stabilirea eficienței energetice a unui ansamblu de comprimare care funcționează în regim de supracompresie

Notații și Simboluri utilizate în cadrul rezumatului

Notație/Simbol	Denumire parametru
SEP	Sistem eficient de separare gaz-ulei
CENT	Separator Centrifugal din echiparea SEP
HMI	Panou Operator (eng. <i>Human Machine Interface</i>
PLC	Controler Logic Programabil (eng. <i>programmable logic controller</i>)
barg	Presiunea exprimată relativ față de presiunea atmosferică
bara	Presiunea absolută
DN	Diametrul Nominal
PN	Presiunea Nominală
CFD	Dinamica Computațională a Fluidelor
ppm	Parți per Milion, exprimat în unități de masă
Skid/ Skid Compresor	Ansamblu de comprimare echipat cu compresor cu șurub, cu injecție de ulei

CAPITOLUL 1. PREZENTAREA PRINCIPALEOR CARACTERISTICI FUNCȚIONALE ALE COMPRESOARELOR CU ȘURUB

Compresorul cu șurub este o mașină volumetrică cu deplasare pozitivă [20] care este compus, considerând o variantă simplificată, din doi rotorii profilați cu caneluri elicoidale, încadrați într-o carcasă comună. Profilele elicoidale ale rotorilor sunt conjugate, angrenarea realizându-se similar ca în cazul roților dințate cu dinți înclinați. Rotorii compresorului cu șurub sunt special profilați pentru a asigura etanșarea între camerele de lucru succesive, între camerele de lucru și carcasă, precum și pentru a asigura un volum aspirat cât mai mare.[18], [20].

Compresoarele cu șurub se utilizează îndeosebi pentru comprimarea aerului pentru diferite procese tehnologice, comprimarea și transportul gazelor naturale și gazelor asociate în industria producătoare de petrol și comprimarea agenților frigotehnici în industria condiționării aerului.

Compresoarele cu șurub au cunoscut o largă răspândire în România în ultimii ani, fiind o alternativă la compresoarele clasice cu piston, performanțele sale recomandându-le pentru aplicații industriale.

Deși conceptual par similare, compresoare cu șurub fără ungere și compresoarele cu șurub cu injecție se deosebesc categoric constructiv și funcțional, fiind tipuri diferite de compresoare.

Uleiul injectat în compresor are cinci funcții de bază: răcire, etanșare, ungere, silențiozitate și protecție anticorozivă. Injecția de ulei în compresorul cu șurub îmbunătățește raportul volumetric (pot atinge rapoarte de comprimare între 2 și 13 într-o singură treaptă [14]), scade consumul energetic (evoluția de comprimare este apropiată de cea izotermă), simplifică construcția compresorului, permite controlul total al temperaturii de refulare și permite funcționarea eficientă și la turații joase.

Uleiul injectat în compresor se amestecă cu gazul și toată cantitatea de ulei introdusă este evacuată împreună cu gazul comprimat sub forma de amestec bifazic gaz-picături fine de ulei. Pentru a reduce pierderile de ulei tehnologic se procedează la separarea fazelor lichide și gazoase utilizând sisteme de separare a căror eficiența depinde de mărimea picăturilor de ulei din amestec, de presiunea și temperatura de lucru.

Prin urmare, este necesară separarea uleiului din gazul comprimat, pentru: a asigura calitatea gazului livrat, a reduce cât mai mult conținutul de ulei rezidual din gazul livrat, a reduce costurile de operare.

Eficacitatea soluțiilor constructive de separare utilizare se certifică prin conținutul de ulei rezidual din gazul comprimat care ajunge la utilizator. Convenția în industrie pentru a cuantifica cantitatea de ulei prezentă în gazul comprimat este utilizarea termenului părți per milion, în unități masice, ppm.

CAPITOLUL 2. PREZENTAREA SISTEMELOR DE SEPARARE GAZ-ULEI DIN ECHIPAREA ANSAMBLURILOR COMPRESOARE CU ȘURUB

Compresoarele destinate comprimării aerului sau gazelor naturale dezvoltate de INCD Turbomotoare COMOTI fac parte din categoria compresoarelor cu șurub, cu injecție de ulei. În procesul de comprimare al gazelor se injectează ulei în camerele de compresie, între rotorii unității de comprimare, pentru răcirea gazului comprimat, pentru reducerea frecărilor între suprafețele rotorilor și pentru îmbunătăți etanșarea volumelor izolate în unitate.

Ansamblurile de comprimare cu compresor cu șurub, cu injecție de ulei sunt echipate cu separatoare gaz-ulei în care sunt montate diferite soluții tehnice de separare, conținutul de ulei rezidual încadrându-se în general între 100 și 40 ppm. La aceste valori ale uleiului rezidual din gazul comprimat nu se poate constata vizual prezența uleiului în gaz. Nivelul este suficient de scăzut încât nu va putea avea funcția de lubrifiant în echipamentele prin care gazul comprimat va trece ulterior.

Metodele mecanice utilizate pentru îndepărtarea uleiului din gazul comprimat în separatoare gaz-ulei sunt: separarea gravitațională, separarea prin schimbarea direcției sau a vitezei de curgere, separarea prin utilizarea forței centrifuge, separarea prin coalescență. Fiecare dintre metodele enumerate necesită o anumită configurație de montaj și are limite în reținerea picăturilor de ulei de dimensiuni variate. Separatoarele gaz-ulei utilizate în industrie pot fi construite folosind una sau mai multe metode de separare.

Eficacitatea unei soluții constructive de separare gaz-ulei este condiționată de analiza corectă a tuturor aspectelor funcționale, de aplicarea corectă a ipotezelor și metodelor de calcul, de utilizarea de soluții tehnologice performante [5]–[7]. Analiza proceselor fizice care au loc în compresorul cu injecție de ulei au evidențiat că în amestecul de gaz-ulei, uleiul poate fi prezent și în stare gazoasă, însă în cantități mult mai mici, deoarece condițiile de stare care favorizează trecerea din stare lichidă în stare gazoasă nu se îndeplinesc. Rezultă că practic pentru toate aplicațiile se pot aplica soluțiile de separare - filtrare cu mijloace mecanice pentru reținerea uleiului în stare lichidă.

Mecanismul de formare și dimensiunea medie a picăturilor depind de procesul tehnologic prin care acestea sunt generate. Eficiența de separare a picăturilor este influențată de o multitudine de factori precum: dimensiunea picăturilor de ulei în suspensie în gazul comprimat, viteza de curgere a gazului prin dispozitivul separator, densitatea și vâscozitatea gazului, densitatea și vâscozitatea uleiului, temperatura și presiunea din vasul separator. În urma procesului de comprimare, uleiul aflat în suspensie în gazul comprimat constă în picături cu diametre care variază în general între 0.2 și 500 μm . [15], [19]

Separarea prin metode mecanice a picăturilor în suspensie în gaz se petrece în momentul în care picătura intra în contact cu un obstacol dispus pe traseul gazului. Acest lucru este posibil dacă picătura este supusă unor forțe externe suficient de mari pentru a o separa de fluxul de gaz. Mecanismele de separare ale particulelor pot fi împărțite în șase categorii și anume decantarea gravitațională, separarea centrifugă, impactul inerțial, interceptarea directă, difuzia și migrarea electrostatică. [2], [3]

În funcție de mecanismul de separare utilizat, există mai multe tipuri de soluții tehnice de separare a picăturilor de ulei din gazul comprimat. Neînțelegerea procesului de comprimare a gazului și a sursei de lichid în procesul din amonte de separator poate determina selectarea greșită a tipului de separator [6], [7]. Este foarte importantă estimarea riguroasă a dimensiunilor picăturilor de ulei aflate în suspensie în gazul comprimat [5], [7]. În funcție de distribuția dimensiunilor picăturilor, pe lângă alți parametri funcționali, se poate selecta metoda de separare care asigură eficiența cea mai bună.

Parametrii de performanță ai unui separator gaz-lichid sunt [3]: eficiența de separare, căderea de presiune, capacitatea de separare, tendința de colmatare.

Pentru dimensionarea unui sistem eficient de separare gaz ulei, trebuie avute în vedere limitările de lucru ale fiecărei soluții de separare. Pe baza materialelor prelucrate de autor, s-au realizat tabelele centralizate 2.1 și 2.2, conform [4], [10], [15].

În Tabelul 2.1 sunt prezentate materialele, metodele de separare și diametrul picăturilor blocate/separate. Din cele prezentate anterior reiese că un sistem eficient de separare, care să asigure o reținere cât mai mare a uleiului, precum și o durată mare de funcționare, trebuie să includă mai multe trepte de separare, dispuse într-o succesiune corespunzătoare.

Tabelul 2.1 - Materiale, metode de separare și diametrul picăturilor de ulei reținute, conform [4], [10], [15].

Nr.	Soluție constructivă de separare	Diametrul picăturii reținute în separator [μm]
1	Membrana moleculară	până la 0,004
2	Coalescere(fibre)	0,10-1
3	Țesătură metalică, cu firul țesăturii $d=0,02$ mm	2-5
4	Ciclon	5-10
5	Țesătură metalică, $d=0,15$ mm	5-12
6	Țesătură metalică, $d=0,3$ mm	15
7	Placi cu șicane	15-30
8	Sisteme de separare gravitațională	50-150

Tabelul 2.2. Comparație între diferite soluții de separatoare., conform [4], [10], [15]

	Coalescere (Fibre)	Țesături metalice	Placi cu șicane	Separatoare centrifugale/cicloane
Cost	Cel mai ridicat	Cel mai mic	Mai mare ca "țesătură metalică"	Mai mare ca „placi cu șicane”
Încărcarea cu lichid	Cea mai mică	Medie	Mare	Cea mai mare
Diametrul picăturii reținute	$<0,1 \mu\text{m}$	2-15 μm	15-30 μm	15-30 μm
Întreținerea/Înlocuire	Înlocuire la 2000-4000h	Înlocuire la 16000 h	Întreținere ușoară	Întreținere ușoară
Căderea de presiune	5-200 mbar	<5 mbar	1-10 mbar	20-30 mbar
Comportamentul la impurități solide	Nu admite	Admite cantități mici	Comportament excelent	Comportament excelent
Instalare	Complexitate medie,	Complexitate mica	Complexitate medie	Complexitate medie
Comportament general	Foarte eficiente,	Instalare facilă, eficiență bună,	Comportament excelent la	Asigură compactitatea

	necesită înlocuire frecventa, preț ridicat, au cădere de presiune mare. Necesită altă treaptă de separare înainte. Necesită recuperarea uleiului separat.	cădere mică de presiune. Preț mic. Necesită sistem de fixare și susținere suplimentar, deoarece	separarea unei cantități mari de lichid. Pot fi utilizate în cazul lichidelor vâscoase și cu aderență mare la suprafețe. Necesită treaptă intermediară de separare pentru lucrul cu picături de mici dimensiuni	vasului separator și pot separa cantități foarte mari de lichide. Cădere de presiune medie.
--	---	---	---	---

Cunoașterea concentrației de ulei din gazul comprimat este esențială pentru stabilirea și dimensionarea unui sistem de separare, așa cum s-a mai precizat anterior. Pentru răcirea și menținerea temperaturii la 80 °C a unui debit de 30 000 Nm³/zi de aer, comprimat de la 0,9 la 5,2 bara este nevoie de injecția a 108 l/min, la temperatura de 50 °C, determinând o concentrație de ulei de 3608 g ulei/kg gaz.

Pentru a asigura eficiența de reținere a unui sistem de separare utilizat în echiparea ansamblurilor de comprimare cu șurub, este necesară utilizarea unor combinații de metode mecanice, de exemplu combinații de cicloane cu demistere tip tricot și filtre coalescere.

Eficiența unui sistem de separare scade cu numărul de ore de funcționare al instalației, cu creșterea cantității de ulei în amestec cu gazul comprimat.

De asemenea, eficiența unui sistem de separare scade cu scăderea dimensiunilor picăturilor din amestec, cu creșterea presiunii și temperaturii amestecului gaz-ulei.

Stabilirea condițiilor și punctului de funcționare este definitorie pentru selecția unei metode de separare.

CAPITOLUL 3. ANALIZA EXPERIMENTALĂ UNUI SISTEM CONVENȚIONAL DE SEPARARE GAZ ULEI

Pentru determinarea performanțelor de separare ulei-gaz ale unei soluții constructive utilizată frecvent în aplicațiile de comprimare dezvoltate de INCD Turbomotoare COMOTI, s-a realizat campania de testare împărțită în 2 etape distincte, fiecare având obiectivele sale generale și specifice. În prima etapă de experimentare s-a testat eficiența separatorului gaz-ulei, utilizând metoda gravimetrică. În a doua etapă a experimentării s-au determinat distribuția și dimensiunile particulelor de ulei aflate în suspensie în aerul comprimat la ieșirea din vasul separator.

3.1. Determinarea conținutului rezidual de ulei la ieșirea din vasul separator

Instalația de testare utilizată pentru experimentare este un electrocompresor cu șurub, dezvoltat de COMOTI, destinat să comprime gaze asociate cu țițeiul în zona de exploatare Moinești. Principalele elemente ale ansamblului codificat ECS 30/10, instalat pe o structură metalică, sunt: compresorul cu șurub, motorul electric, vasul separator, instalația de ulei, răcitorul de ulei, filtrele de gaz și ulei, electrovane de proces, sisteme de măsură și instrumentare. Pentru determinarea conținutului rezidual de ulei din gazul comprimat la ieșirea din vasul separator s-a utilizat „metoda A” din standardul de referință ISO 8573. Metoda are avantajul de a permite manipularea de debite volumetrice mari și, prin urmare, elimină posibilele erori cauzate de studiul la scară mică.

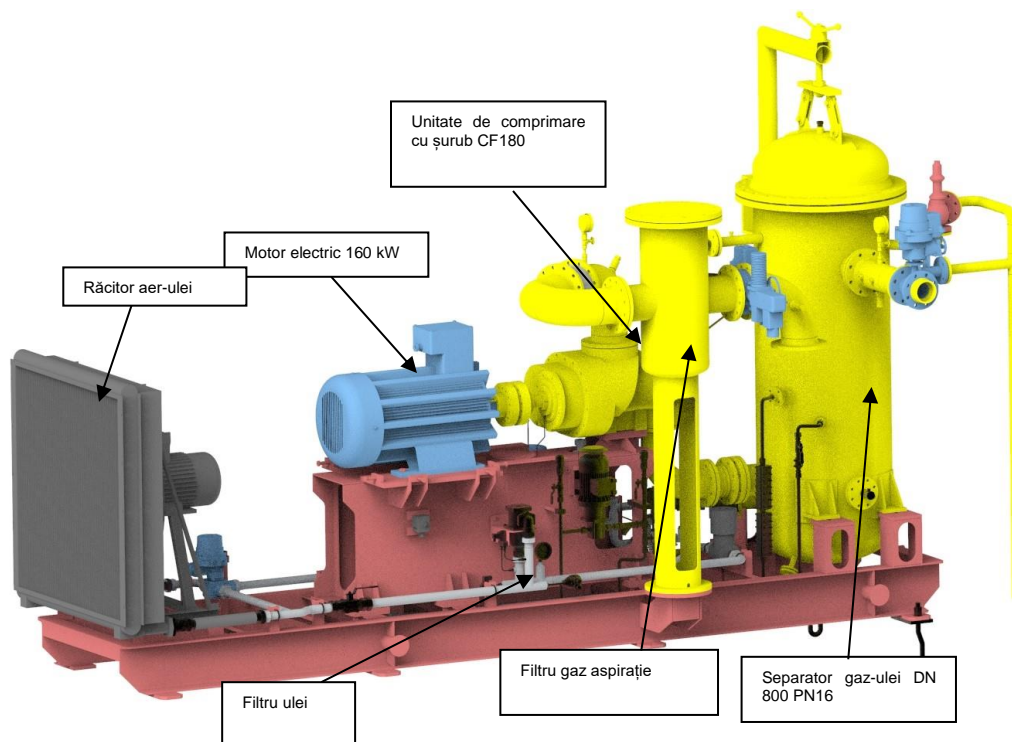


Figura 3.1. Ansamblu de comprimare echipat cu compresor cu șurub cu injecție de ulei.

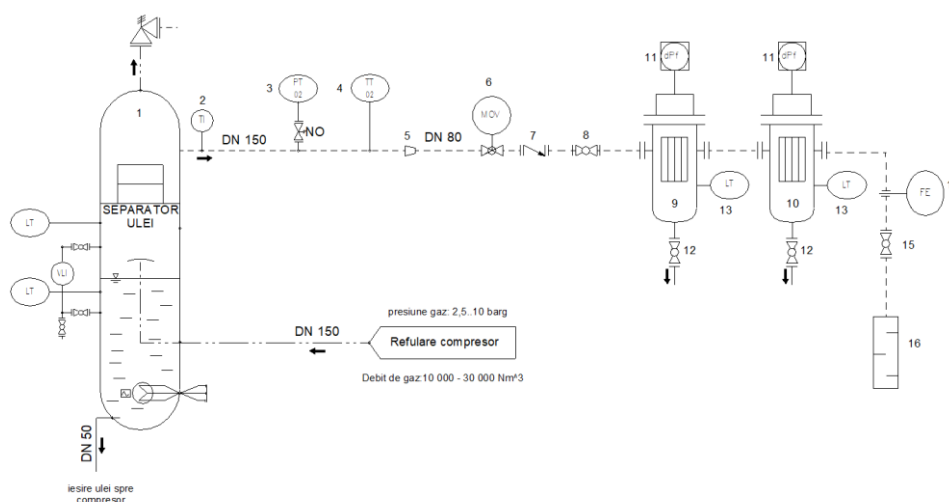


Figura 3.2. Configurația de experimentare pentru determinarea conținutului rezidual de ulei din vasul separator, configurație propusă de autor.

1. Vas separator vertical gaz- ulei, echipat cu 2 trepte de demister
2. Termometru

3. Traductor de presiune
4. Traductor de temperatura
5. Reducție concentrică DN150 – DN80
6. Robinet cu sferă acționat electric
7. Clapetă de sens
8. Robinet cu sferă
9. Filtru coalescent, prima treaptă-6CU-280x1, producător Parker Finite
10. Filtru coalescent, a două treaptă-4CU-280x1, producător Parker Finite
11. Manometru diferențial
12. Robinet drenaj ulei colectat
13. Traductor de nivel tip furcă vibrantă
14. Debitmetru- tip diafragma
15. Robinet pentru reglarea contrapresiunii
16. Amortizor de zgomot

În Figura 3.2 sunt prezentate principalele elemente constitutive ale instalației de test. Gazul comprimat amestecat cu ulei traversează treptele de separare tip demister instalate în vasul separator vertical (1). În funcție de eficiența treptelor de separare, gazul comprimat la ieșirea din vasul separator va conține o anumită cantitate de ulei sub formă lichidă și vapori. O valoare orientativă care ar releva o bună funcționare a demisterelor ar fi 40 mg/m³.

Cele două filtre coalescente, dispuse pe conducta de refulare, au ca scop reținerea uleiului care se află în stare lichidă. Primul filtru va fi echipat cu un element coalescer de tip 6CU, care conform ISO 12500-1 și fisei de catalog va asigura reținea a 99.97% picături de ulei cu diametrul între 0,3 și 0.6 μm. Cel de-al doilea element, tip 4CU va reține 99.995% picături între 0,3 și 0,6 μm.

Pentru asigurarea vitezelor optime de curgere prin filtrele coalescente s-a prevăzut robinetul de reglare (15). Debitul de gaz comprimat este instrumentat cu traductorul de debit tip diafragma (14).

S-a comandat pornirea ansamblului compresor de gaz. Sistemul de control comandă deschiderea robinetului cu bilă acționat electric (6). S-a reglat contrapresiunea în sistem prin închiderea progresivă a robinetului de reglare (15), urmărind creșterea presiunii pe manometrul (3). Se funcționează un timp pentru a permite atingerea temperaturilor de regim și stabilizarea parametrilor funcționali. Testul a început în momentul în care valorile căderilor de presiune pe filtrele coalescente s-au stabilizat. Dacă elementele coalescente sunt noi, la prima funcționare trebuie să se aștepte atingerea echilibrului funcțional, evidențiat prin stabilizarea la o anumită valoare a căderii de presiune pe filtru, în general în domeniul 0,1- 0,25 bar. Ambele filtre coalescente de test au fost golite de conținutul lichid prin intermediul robinetelor de golire (12).

Pentru calculul cantității de ulei rezidual la ieșirea din vasul separator se utilizează formula, în conformitate cu ISO 8573-2:

$$X = \frac{V \cdot \rho}{q \cdot H \cdot 3600} 10^6 \quad (3.1)$$

Unde:

X -cantitatea de ulei rezidual la ieșirea din separatorul gaz-ulei (mg ulei/m³aer)

V - volumul de ulei colectat (ml)

ρ - densitatea uleiului (kg/m³)

q – debitul volumic gaz (l/s), exprimat în condiții normale de presiune și temperatură

H – durata testului (h)

Tabelul 3.1. Calculul cantității de ulei rezidual după trecerea gazului prin vasul separator

Volum colectat în primul filtru coalescent, poziția 9	300	ml
q	347,2	l/s
H	1	h
ρ	860	kg/m ³
X	206,4	mg/ Nm ³
ppm	160	mg/kg

Pentru regimul de funcționare considerat, utilizând relația (3.1) s-a relevat faptul că la ieșirea din vasul separator conținutul de ulei rezidual este de 160 ppm. Conform recomandărilor producătorilor de filtre coalescente, pentru atingerea eficiențelor mari de reținere, la intrarea în filtrele coalescente este necesar ca sistemul din amonte, în cazul nostru vasul separator, să asigure 40 ppm. Pentru vasul separator de test, la regimul de testare, cantitatea de ulei din gazul comprimat este de 4 ori mai mare față de recomandări. Dacă ansamblul compresor de test ar fi instalat într-o stație de comprimare fără a fi echipat și cu un filtru coalescent, într-o luna de funcționare s-ar consuma aproximativ 144 l de ulei, o cantitate foarte mare care ar ridica costurile de operare și posibil ar influența negativ echipamentele din avalul ansamblului de comprimare.

Tabelul 3.2. Calculul cantității de ulei rezidual după trecerea gazului prin primul filtru coalescer

Volum colectat în al doilea filtru coalescent, poziția 10	40	ml
q	347,2	l/s
H	1	h
ρ	860	kg/ m ³
X	27,52	mg/ Nm ³
ppm	21,3	mg/kg

În cel de-al doilea filtru coalescent, după aceeași durată de funcționare s-a colectat un volum de aproximativ 40 ml de ulei. Utilizând aceeași relație (3.1) rezultă că la ieșirea din primul filtru coalescent, conținutul de ulei este de 21 ppm. În aceste condiții de funcționare, într-o luna de funcționare, s-ar consuma aproximativ 19 l de ulei. În mod normal conținutul de ulei rezidual, la ieșirea din filtrul coalescent, trebuie să se încadreze între 2 și 5 ppm. În cazul experimentului realizat, conținutul a fost de peste 4 ori mai mare. Explicația constă în faptul că la intrarea în filtrul coalescent gazul comprimat conține o cantitate de ulei prea mare față de capacitatea de separare a acestuia.

Se impune integrarea în vasul separator a unei soluții de separare mixte care să combine mai multe tipuri constructive de separatoare: ciclon, demister tip tricot și filtru coalescent.

Cauze posibile ale lipsei de eficiență de separare a vasului separator:

- Cantitate prea mare de ulei care trebuie separată de treptele de demister;
- Cantitate mare de ulei sub forma de picături de ulei cu dimensiuni mai mici de 2 μm care în mod normal nu sunt reținute de demistere tip tricot;
- Grosime prea mică a țesăturii de demister;
- Eficiența scăzută a treptei a două de demister ca urmare a modului de poziționare în vasul separator;
- Reantrenare de picături de ulei care au fost separate în demister;
- Generarea de picături de ulei suplimentare față de cele generate în procesul de injecție în compresor, prin parcurgerea cotului de evacuare și a deflectorului cu palete.
- Crearea unui drum preferențial de circulație a gazului prin demistere, determinând separarea uleiului pe suprafețe mai mici față de cele disponibile.

Cercetările experimentale realizate au relevat că soluția tehnică de separator, alcătuită din două trepte de demister tip tricot, nu asigură o eficiență de separare corespunzătoare pentru picăturile mai mici de 5 μm .

Deși au un comportament bun în exploatare, fără a se colmata cu impurități solide sau lichide, funcționând cu căderi mici de presiune pentru perioade mari de timp, separatoarele cu două trepte de demister tip tricot, nu pot realiza o separare eficientă indiferent de dimensiunile acestora și modul în care sunt configurate și montate.

Filtrele coalescente tip Parker, utilizate la ieșirea din vasele separatoare asigură o separare bună, dar necesită o înlocuire frecventă. Pentru funcționarea corectă a filtrelor coalescente, producătorul impune la intrare un conținut rezidual de 40 ppm. Din cercetările experimentale realizate, utilizând metoda gravimetrică, conform ISO 8573-2:2007, a rezultat un conținut rezidual la ieșirea din vasul separator de 160 ppm. În aceste condiții de funcționare filtrul coalescent va funcționa departe de punctul de proiectare și cu o eficiență mai mică de separare, crescând căderea de presiune pe acesta. Creșterea căderii de presiune pe filtrele coalescente va determina și un consum suplimentar de energie.

Pierderea de ulei în cazul funcționării pe o perioadă de 24 de ore va fi de 4,8 litri, iar pentru o funcționare continuă de 30 de zile, pierderea va fi de 144 de litri. În aceste condiții, funcționarea ansamblului de comprimare va determina un consum foarte mare de ulei, necesitând oprirea pentru completare cu ulei la intervale relativ scurte de timp (o dată pe săptămână). Pe de altă parte echipamentele din avalul ansamblului de comprimare vor fi contaminate cu uleiul aflat în suspensie în aerul comprimat, determinând funcționarea acestora în condiții diferite față de cele de proiectare

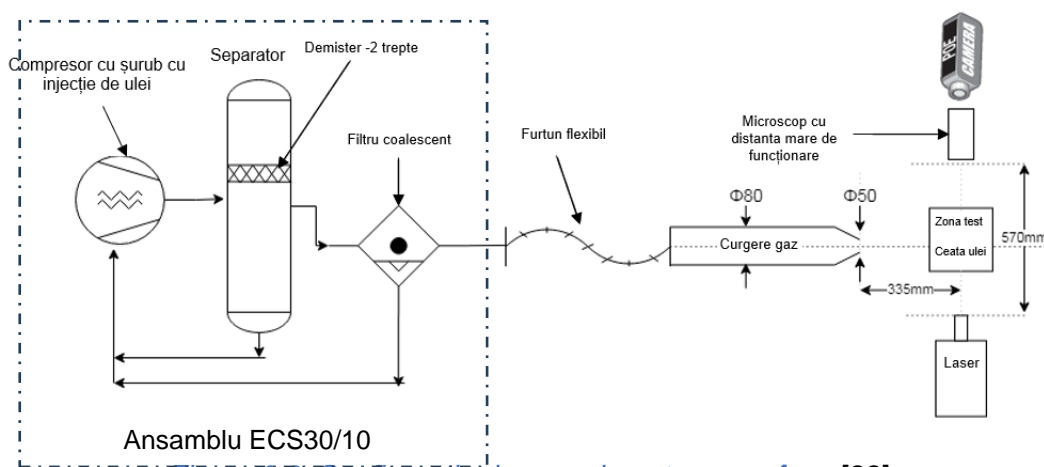
3.2. Determinarea experimentală a caracteristicilor picăturilor de ulei aflate în suspensie în gazul comprimat

Pentru determinarea vitezelor și dimensiunilor picăturilor de ulei la ieșirea din vasul separator echipat cu 2 trepte de demister, s-a utilizat un echipament de cercetare din dotarea INCD Turbomotoare COMOTI. Echipamentul utilizat pentru

această experimentare este produs de LaVision și are denumirea comercială Particle Master Shadow. Acesta este un sistem optic de imagistică non-invaziv, care poate determina simultan dimensiunea, forma și viteza particulelor individuale ale picăturilor sau bulelor dispersate în fluxuri de gaze sau lichide.

Funcționarea echipamentului se bazează pe efectul optic generat de umbra picăturilor sau a bulelor din mediul de transport transparent. Efectul de umbră [22], [25] este o tehnică răspândită pentru caracterizarea particulelor, permițând identificarea particulelor și determinarea proprietăților acestora cu o viteză bună de procesare.

În Figura 3.3 este ilustrată instalația de experimentare, realizată de autor împreună cu autorii lucrării [22], pentru determinarea caracteristicilor picăturilor de ulei aflate în suspensie în gazul comprimat, la ieșirea din vasul separator.



Figură 3.3. Configurația de experimentare, conform [22],

Față de configurația de test, prezentată în Figura 3.2, utilizată pentru stabilirea cantității de ulei din gazul comprimat în urma experimentelor prezentată în subcapitolul 3.2, s-a realizat o singură modificare, în sensul în care ansamblul de comprimare ECS 30/10 a funcționat fără filtru coalescent, în prima fază și cu un singur filtru coalescent, în a doua fază. S-a decis să se realizeze două seturi de teste experimentale pentru a obține informații semnificative cu privire la dimensiunea și distribuția picăturilor de ulei, care pot fi comparate ulterior. S-a estimat că în varianta de experimentare cu filtru coalescent, numărul și dimensiunile picăturilor detectate vor fi mai mici.

Amestecul bifazic refulat din ansamblul de comprimare ECS 30/10 este preluat prin intermediul unui furtun flexibil și al unei conducte rigide de diametrul DN80. În Figura 3.4 sunt prezentate fotografiile surprinse pe parcursul testelor. Se poate observa fluxul de amestec bifazic la ieșirea din conducta de DN80, flux care traversează sistemului de detecție. Ulterior, pentru concentrarea jetului de amestec bifazic s-a montat o reducere concentrică de la DN80 la DN50, aspect care nu este surprins în fotografii.



Figura 3.4. Fotografii surprinse în timpul experimentărilor

La începutul etapei de experimentare s-a constatat că, deși prezența picăturilor de ulei în amestec cu aerul comprimat era evidentă, aspect confirmat și vizual prin prezența ceții de ulei, camera de tip CCD nu a surprins în cadrele înregistrate picăturile care au traversat câmpul de vizualizare. Au fost realizate o serie de calibrări ale laserului, camerei CCD și configurări în soft-ul de control al laserului – DaVis și realizate mai multe teste comparative.

Aplicarea proceduri de lucru, dezvoltată de autor și alții [22], a furnizat rezultate bune, făcând posibilă înregistrarea a aprox. 300 de cadre duble în care au fost surprinse umbre ale picăturilor care au traversat FOV. Pentru obținerea datelor de interes, procedura de experimentare a fost împărțită în trei faze: configurarea și calibrarea sistemului de imagistică, realizarea testului și înregistrarea datelor, procesarea datelor înregistrate

Softul de procesare exportă datele procesate privind distribuția picăturilor identificate și analizate dimensional astfel:

Tabelul 3.3 prezintă statistici cumulate obținute pentru distribuția dimensională a picăturilor înregistrate

Tabelul 3.3. Statisticile cumulate pentru distribuția picăturilor de ulei identificate, în cele două variante de lucru

	Statistica	Valoare (cu filtru coalescent) 18 particule	Valoare (fără filtru coalescent) 45 particule	UM
1	D10	6.2	6.4	μm
2	D32	9.9	9.8	μm
3	Dv10	5.9	6.6	μm
4	Dv50	11.1	10.8	μm
5	Dv90	14.9	12.2	μm

Unde. D10 – este media aritmetică a diametrelor particulelor capturate; D32 – reprezintă diametrul mediu Sauter, definit ca diametrul unei picături ipotetice a cărei raport dintre volum și suprafață este egal cu raportul dintre volumul și suprafața tuturor picăturilor analizate; Dv10, Dv50, Dv90 - percentilele în volum la 10%, 50%, 90% (Dv50 înseamnă că toate particulele cu diametru până la Dv50 conțin 50% din volumul total al particulelor)

Pentru a ilustra dimensiunile particulelor care au fost vizualizate, după procesarea imaginilor s-au întocmit histograme pentru fiecare din cele două configurații de funcționare. Histogramele reprezintă frecvența apariției fiecărei clase

de mărimi. Axa orizontală a unei histogramme poate fi separată în linii echidistante liniare sau logaritmice. Axa verticală reprezintă probabilitatea (frecvența) sau numerele absolute (frecvența absolută).

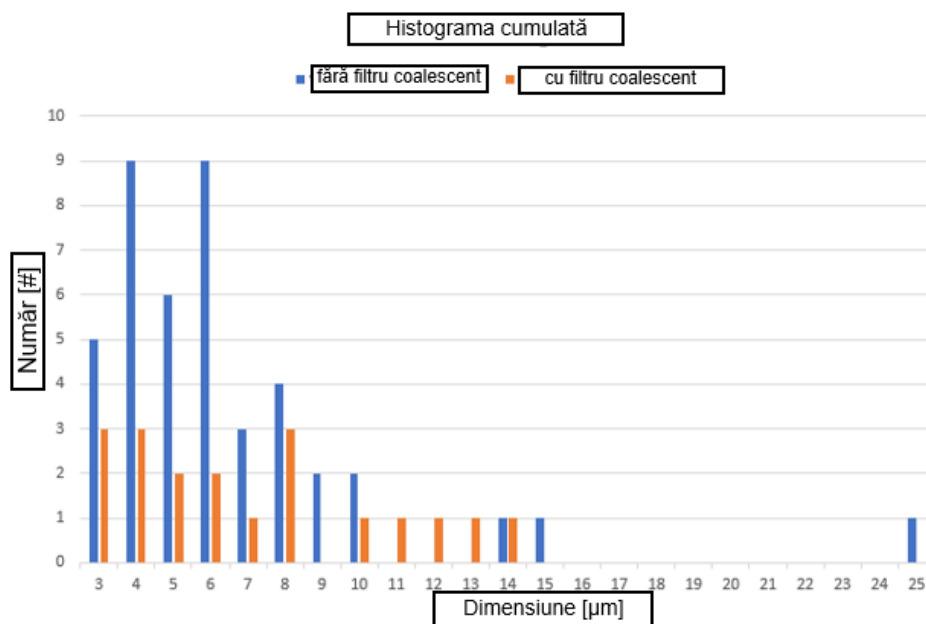


Figura 3.5. Histograma cumulată pentru ambele cazuri

În Figura 3.5 sunt prezentate histogrammele cumulate ale distribuției dimensiunilor particulelor pentru cazul funcționării fără filtru coalescent, respectiv cu filtru coalescent, în timp ce linia verde reprezintă distribuția cumulată a particulelor detectate de sistemul de măsură. În sunt reprezentate cumulat ambele histogramme.. Păstrând aceleași condiții de lucru, au fost surprinse 45 de particule în varianta de test fără filtru coalescent și 18 particule cu filtru coalescent. Se constată totuși o scădere a numărului de particule, precum și a diametrelor lor maxime, atunci când a fost utilizat filtrul de coalescență. Numărul mic de particule detectate este pus pe seama vitezei mari a amestecului bifazic, la ieșirea din tronsonul de conductă DN80 și a dimensiunilor relativ mici ale particulelor. Viteza calculată a amestecului la ieșirea din conducta DN80 este de 34 m/s

Cercetările experimentale realizate pentru investigarea distribuției dimensiunilor picăturilor de ulei, la ieșirea dintr-un sistem convențional de separare gaz-ulei, reprezintă un element de noutate atât prin configurația de testare propusă și prin tehnica de măsurare utilizată. Rezultatele acestui studiu contribuie la o mai bună înțelegere a procesului de separare a uleiului în sistemele de condiționare din echiparea ansamblurilor de comprimare cu șurub și ajută la proiectarea unor sisteme de separare cu performanțe îmbunătățite.

CAPITOLUL 4. ANALIZA NUMERICĂ ȘI EXPERIMENTALĂ A SISTEMULUI EFICIENT DE SEPARARE (SEP)

Considerând rezultatele experimentale și numerice prezentate în CAPITOLUL 3, rezultate care au evidențiat că soluția tehnică a separatorului testat nu asigură o recuperare eficientă a uleiului, aspect care generează un consum crescut de ulei. Se impune necesitatea de proiectare, execuție și testare a unui nou sistem eficient de separare gaz-ulei (SEP).

În proiectarea SEP se va ține cont de concluziile desprinse din funcționarea echipamentelor în condiții similare de lucru în aplicațiile dezvoltate de INCDT COMOTI. Pentru soluția integrată a sistemului eficient de separare autorul a luat în considerare următoarele cerințe:

- compactitate - toate treptele de separare trebuie să fie instalate în cadrul aceluiași vas sub presiune;
- conținutul de ulei rezidual în gazul comprimat să fie de maxim 20 ppm;
- să aibă comportament bun în cazul modificării punctului de funcționare: presiune, temperatură, debit;
- cădere de presiune cât mai mică;
- durată de funcționare de minim 4000 h, până la înlocuirea elementelor componente consumabile (filtre coalescente);
- cost mic de investiție, întreținere cât mai ieftină;
- soluția de montaj în vas să fie cât mai simplă;
- posibilitate de montaj în corpurile de presiune ale vaselor separatoare verticale cu diametrul nominal de 800 mm existente în exploatare ;
- posibilitatea de experimentare în condiții reale de funcționare.

Considerând parametrii funcționali în materie de presiune de refulare și debite vehiculate ale ansamblurilor de comprimare echipate cu compresor cu șurub dezvoltate de INCD Turbomotoare și aflate în exploatare, s-au stabilit următoarele date de intrare pentru dimensionarea și execuția soluției de filtrare.

Tabelul 4.1. Domeniul de funcționare soluției eficiente de separare

Caracteristicile funcționale	
Debit de gaz vehiculat	10.000÷35.000 Nm ³ /zi
Amestec separat	Aer-ulei sau gaz natural-ulei
Presiunea de lucru	5-15 barg
Debit de ulei	max. 150 l/min
Temperatura amestecului	max. 100 °C
Gabarit înălțime x diametru	max. 1620x 700 mm
Poziție de funcționare	Plan Vertical
Performanțe de separare	100% picături > 3 μm
Cădere de presiune	Max 0,15 bar
Conținut rezidual de ulei	Max 20 ppm

În etapa de proiectare s-a optat ca SEP să fie integrat în cadrul unui vas separator gaz-ulei DN800 PN50, existent în componența standului de încercare unități de comprimare, din dotarea INCD Turbomotoare.

Modelul 3D al acestui vas separator, cu poziție de lucru verticală, este ilustrat în figura 4.1. Disponerea racordurilor de proces, nivelul de instrumentare și construcția

de ansamblu a acestui vas separator este asemănătoare cu vasului prezentat în capitolul 3.

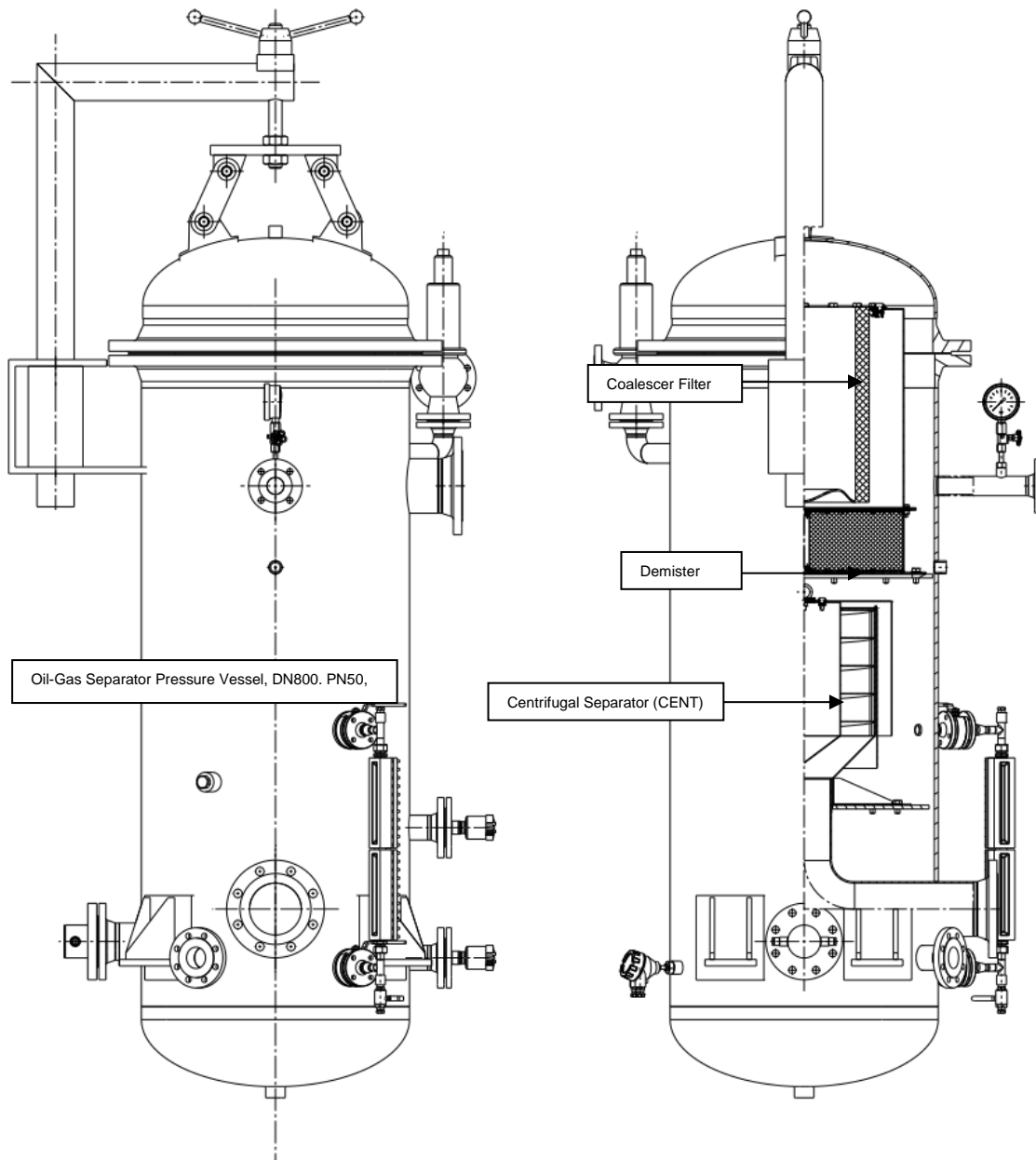


Figura 4.1. Ansamblu vas vertical separator ulei, echipat

Amestecul bifazic gaz-ulei intră în vasul separator schimbându-și direcția de curgere prin parcurgerea cotului cu diametrul de 150 mm, prin care amestecul bifazic este direcționat către prima treaptă de separare, separatorul centrifugal.

Modul de construcție al separatorului centrifugal imprimă amestecului o mișcare de rotație (de vârtej), asigurând o

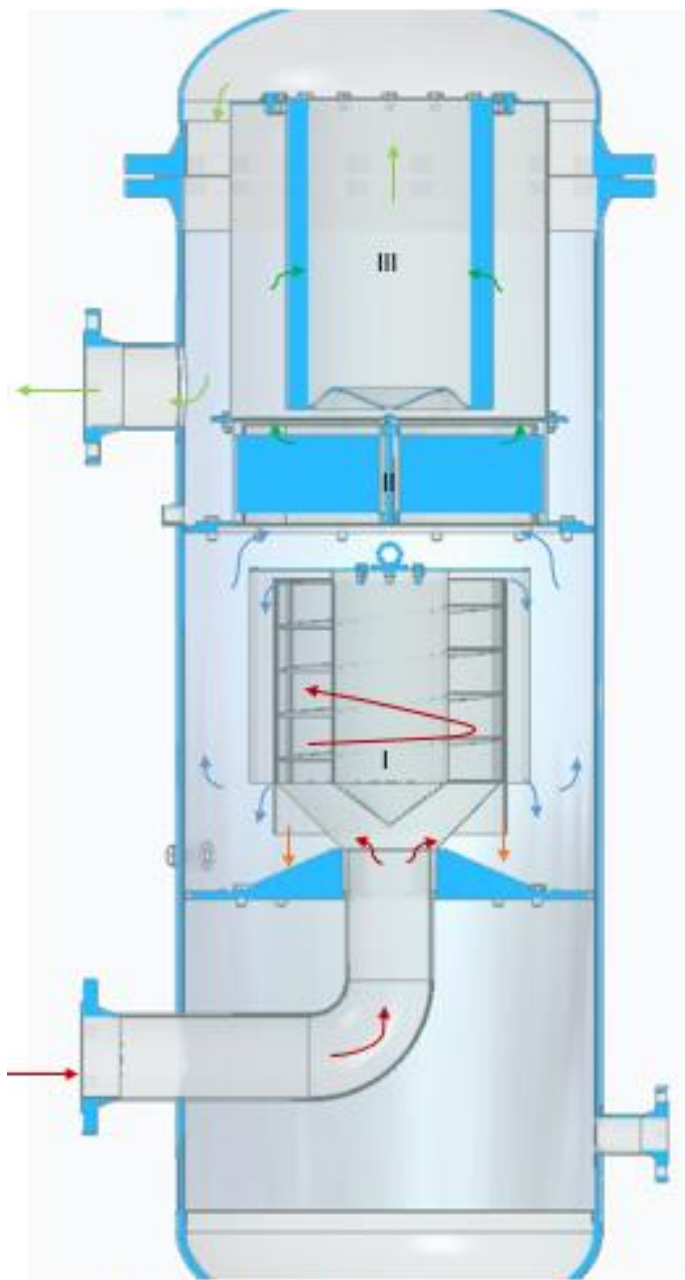


Figura 4.2. Ansamblu separator gaz-ulei DN800

separare prin centrifugare a uleiului față de aer, dar și a suspensiilor solide și semi-solide. În continuare, gazul comprimat, eliberat de picăturile mai mari de $50 \mu\text{m}$, parcurge demisterul construit din țesătură de sârma de inox, cu diametrul $0,2 \text{ mm}$, prin intermediul căreia se realizează o separare fină, cea mai mare parte a uleiului este separată de gazul comprimat.

În funcție de dimensiunile disponibile ale vasului separator existent, s-a decis ca înălțimea tricotelui să fie de 150 mm , dimensiune minimă pentru un demister eficient. În cazul în care se realizează un nou vas separator, fără limitări impuse ale înălțimii acestuia, se recomandă utilizarea unui tricotelui cu grosime de 300 mm .

Ca treaptă finală de separare s-a introdus un filtru separator (coalescer) aer-ulei, cod NS 009930, filtru utilizat pentru îmbunătățirea calității aerului utilizat în instalațiile de aer comprimat

Construcția separatorului centrifugal este una specială și originală. Pentru a facilita separarea și drenarea uleiului către baza vasului separator au fost prevăzute o serie de fante longitudinale. Aceste fante reprezintă un element de noutate față de soluții similare de separare. Uleiul separat este forțat să iasă prin aceste fante longitudinale și este drenat către partea inferioară a vasului, care este și rezervor de ulei. În etapa de proiectare s-au căutat soluții tehnice pentru separarea celor 2 fluxuri - ulei separat - amestec de gaz comprimat cu ulei. Prin intermediul acestor fante și a construcției tip cilindru în cilindru, se realizează separarea celor două fluxuri.

4.1. Modelarea curgerii prin sistemul eficient de separare gaz-ulei

Evaluarea eficienței separatorului bifazic gaz-ulei se realizează aplicând metoda volumului de fluid (VOF). Această metodă este aplicată pe scară largă în dinamica computațională a fluidelor (CFD) pentru diverse aplicații de curgere. Metoda este cea mai potrivită deoarece reușește să surprindă și să urmărească interferența gaz-lichid, oferind în același timp diverse alternative pentru reconstrucția cu precizie a interfeței [11], [21].

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații a fost folosită tehnica de discretizare cu volume finite. În această tehnică regiunea de interes este împărțită în sub-regiuni mai mici, numite volume de control. Ecuațiile sunt discretizate și rezolvate iterativ pentru fiecare volum de control.

Modelul termodinamic pentru acest studiu de caz integrează datele de intrare (geometrie) și proprietățile modelelor fizice. În Figura 4.3 este prezentată diagrama de implementare a modelului termodinamic. [21]

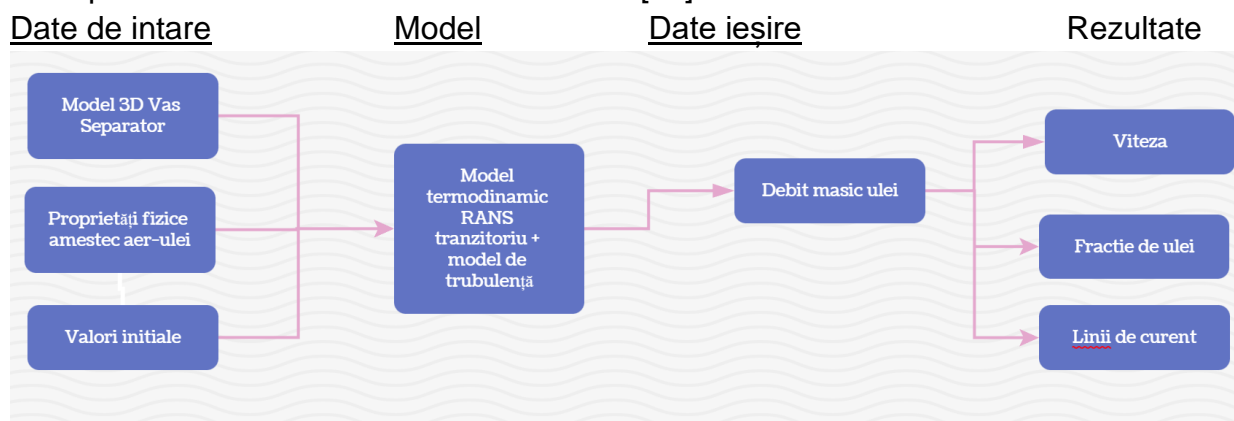


Figura 4.3 Diagrama modelului de implementare

Tabelul 4.2. Proprietăți fizice aer și ulei

	U.M.	Aer	Ulei
Masa molară	kg/kmol	28.96	309
Densitatea	Kg/m ³	1,225	827.1
Căldura specifică, p=ct	J/kg/K	1004,4	2124
Temperatura de referință	°C	25	80
Presiunea de referință	bar	1	1
Entalpie specifică, la temp de ref.	J/kg	0	156801
Entropie specifică, la temp de ref.	J/kg/K	0	503
Vâscozitate dinamică	kg/m/s·10 ⁻³	18,31	11,33
Conductivitate termică	W/m/K	0.0261	0.1274

Pentru validarea dimensiunilor soluțiilor tehnice prezentate în subcapitolul anterior, dar și pentru a realiza o optimizare constructivă a separatorului gaz-ulei, s-au dimensionat iterativ trei variante constructive, variantele doi și trei fiind o îmbunătățire a soluțiilor anterioare, ca urmare a rezultatelor simulărilor numerice.

Primele două variante, pentru reducerea complexității și a timpului necesar simulării, nu au în componență demisterul tip tampon. Varianta trei este cea care a

stat la baza proiectului de execuție a soluției eficiente de separare, prezentată detaliat în subcapitolul 4.4.

În prima etapă vor fi prezentate comparativ rezultatele simulărilor pentru primele două variante constructive. Varianta 1, prezentată în figurile încadrate în partea stângă, constituie prima iterație a soluției integrate de separare, așa cum a rezultat în urma primelor calcule de dimensionare. În urma rezultatelor CFD obținute s-a revizuit partea de separator centrifugal, în sensul reducerii secțiunii canalului de lucru, prin modificarea spiralei, păstrând diametrul interior și exterior, precum și suplimentarea numărului de fante longitudinale, rezultând var.2, cazul de lucru prezentat încadrat în partea dreaptă.

4.1.1. Modelarea curgerii prin sistemul de separare variantele 1 și 2

Geometria tridimensională inițială a modelului a fost importată în softul Design Modeler și s-a realizat o simplificare și optimizare a acesteia. Elementele constitutive, precum șuruburi, flanșe, racorduri pentru instrumentare, care nu sunt de interes pentru simulare, au fost eliminate din model. Pentru a facilita postprocesarea, racordurile de aspirație și ieșire din separator au fost poziționate în același plan transversal. Prin această modificare nu se alterează modul de funcționare al separatorului. Ulterior, s-a generat domeniul de calcul fluid, reprezentat de 4 subdomenii: Rezervor, Separator Centrifugal, Filtru separator și Conductă de refulare.

În Figura 4.4 este prezentat domeniul solid al vasului în timpul procesului de editare. Se observă că pentru studiu au fost considerate doar separatorul centrifugal și filtru separator, demisterul fiind exclus. A fost exclus din model și racordul de ieșire ulei, DN50, spre instalația de ungere, tot din raționament de simplificare. Domeniul fluid al cazului var.1 este ilustrat în Figura 4.5.



Figura 4.4. Domeniul solid

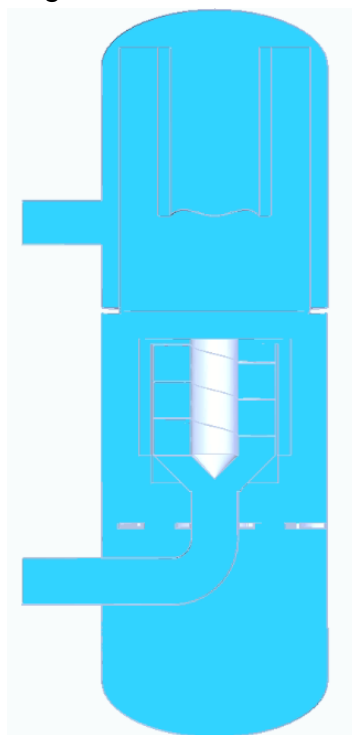


Figura 4.5. Domeniul fluid

separatorului, precum și pentru suprafața filtrului separator.

Grila de calcul prezentată în figurile 4.6 și 4.7 a fost generată utilizând metode de grilare care au la bază mărimea maximă a elementului de 50mm, generându-se grile de calcul combinate (structurate și nestructurate), 1370641 de noduri și 5591750 de elemente. S-a aplicat o condiție de îndesire a grilei, având elementul minim de 3 mm la nivelul interfeței cu spirala și cilindrul intermediar al

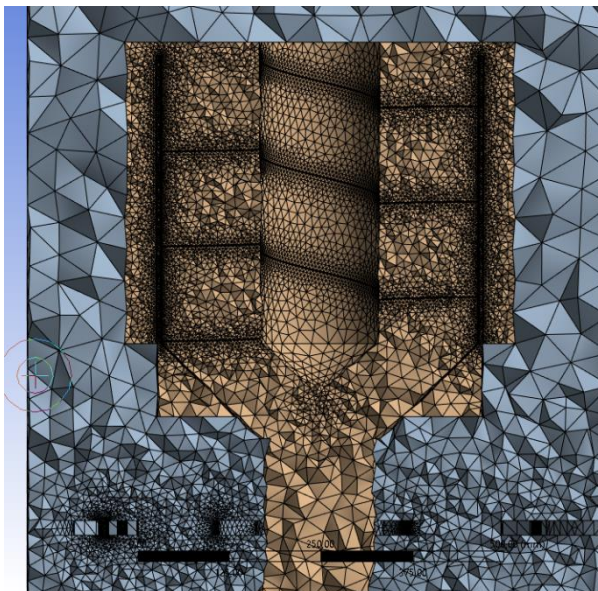


Figura 4.6 Detaliu secțiune grila de calcul

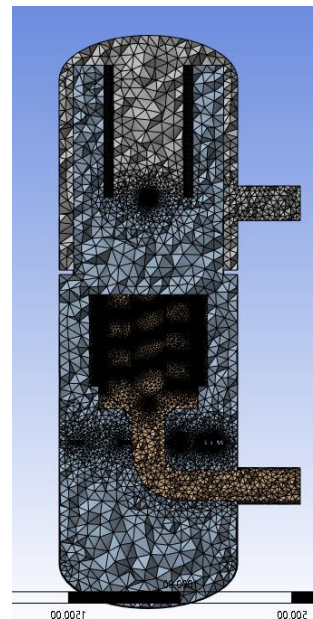


Figura 4.7. Grila de calcul- secțiune

În figurile de mai sus se observă înțesarea grilei de calcul în zonele specificate anterior. Înțesarea grilei de calcul se realizează pentru calculul și surprinderea în detaliu a fenomenului în zonele respective.

Pentru fiecare locație au fost definite presiunea statică și debitele masice ale fiecărei faze, gaz și ulei. În ceea ce privește filtrul separator, o zonă cu mediu poros, pe baza experienței acumulate în simulările anterioare dar și în urma unui studiu extensiv al literaturii de specialitate, porozitatea a fost aleasă 0,95, modelul de pierdere izotrop și permeabilitatea $2,286 \times 10^{-10} \text{ m}^2$.

Cele patru subdomenii de calcul ale cazului de lucru, rezervor, separator centrifugal, domeniu ieșire, sunt definite ca subdomenii fluide, iar subdomeniul filtru separator este definit ca subdomeniu poros. Cele 4 subdomenii generează 8 interfețe.

Tabelul 4.3. Prezentarea condițiilor la limită utilizate pentru setarea cazului

Locație	Descriere Condiție la Limită	Tip racord
INTRARE AMESTEC GAZ-ULEI	Condiție la limita: Viteza amestecului 3,7 m/s Presiune de referință [bar]: 6 Temperatură Statică [°C]: 80 Amestec gaz-ulei în fracțiile volumice din Tabelul 4.4	DN150
IESIRE AMESTEC	Condiție la limita: Debit masic gaz Cădere de presiune [bar]: 0,1	DN150
PERETI/ SEPARATOR CENTRIFUGAL	Condiție la limita: Perete Condiție: Viteza la perete zero	

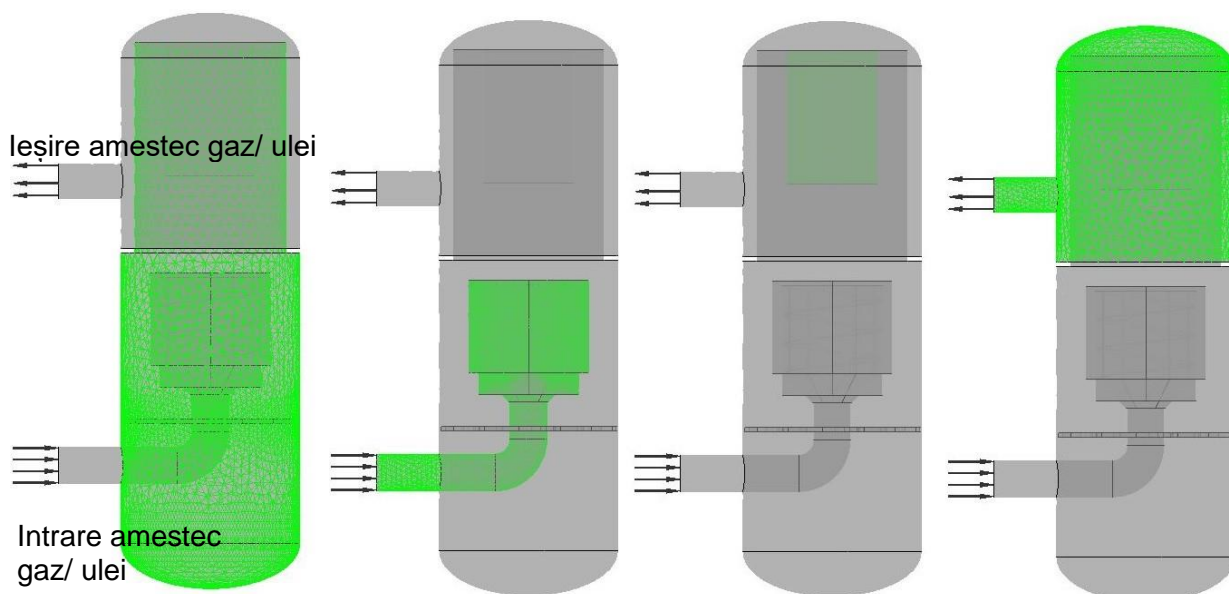


Figura 4.8. Subdomeniile de calcul

În Tabelul 4.4 sunt prezentate datele de intrare utilizate pentru realizarea acestei simulări. Aceste valori sunt introduse ca date de intrare în implementarea cazului de lucru și respectă parametrii și cerințele impuse în proiectarea soluției eficiente de separare.

Tabelul 4.4. Debitele și fracțiile volumice / masice ulei și aer

Debit ulei	139	l/min	
Debit aer	35.000	Nm ³ /zi	
Temperatura gaz	80	°C	
Presiune gaz	6	barg	
	kg/h	m ³ /h	
Ulei	7506,497	8,340552	
Gaz	1885,9	242,4994	
*	gaz (aer)	ulei	total
Fracție masică	0,200788	0,799212	1
Fracție volumică	0,96675	0,033251	1

Pentru a reduce efortul analizei și timpul necesar pentru rularea cazului de lucru, s-a stabilit inițial nivelul de ulei în vas sub nivelul cotului de admisie a amestecului gaz-ulei. Astfel în momentul inițializării, softul nu mai introduce ulei și cotul de admisie, ca și condiție de inițializare.

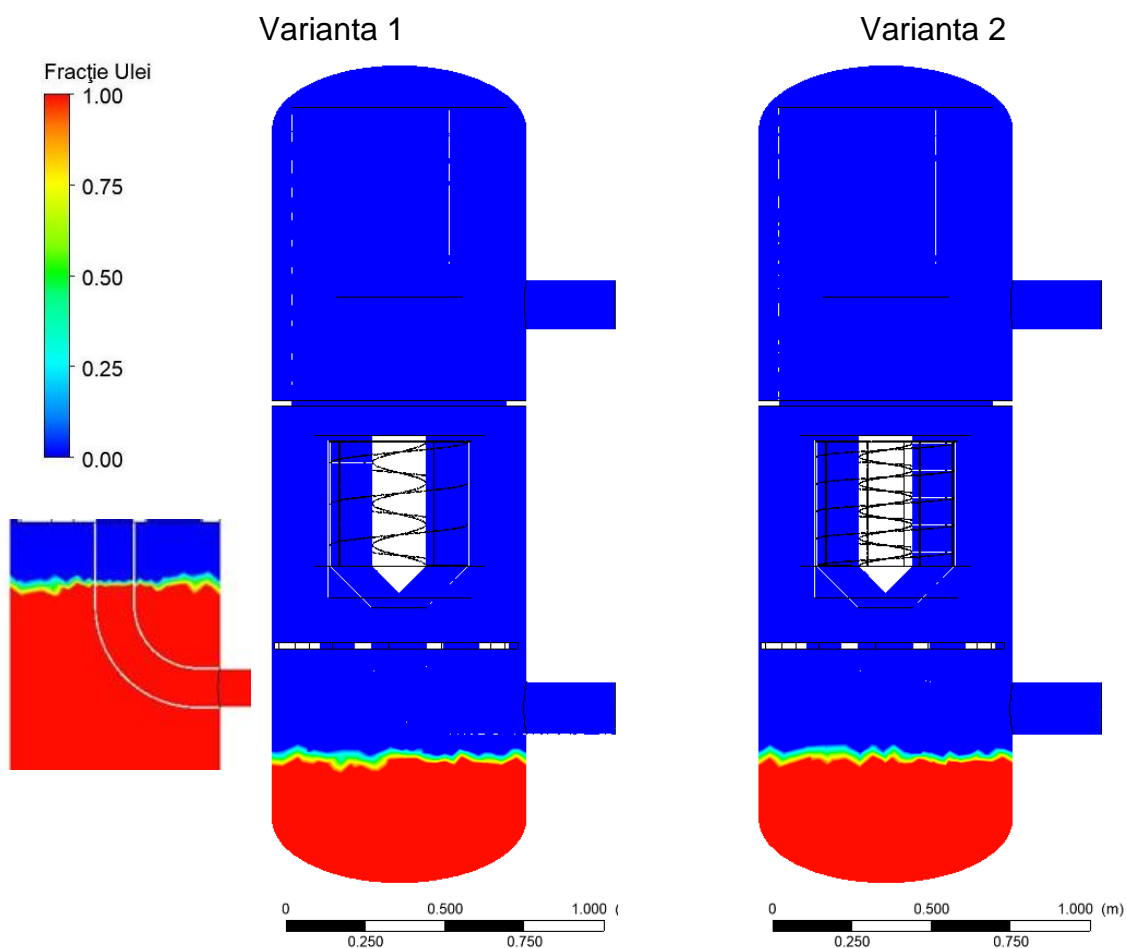


Figura 4.9. Volumele de gaz și ulei în momentul inițializării 0s

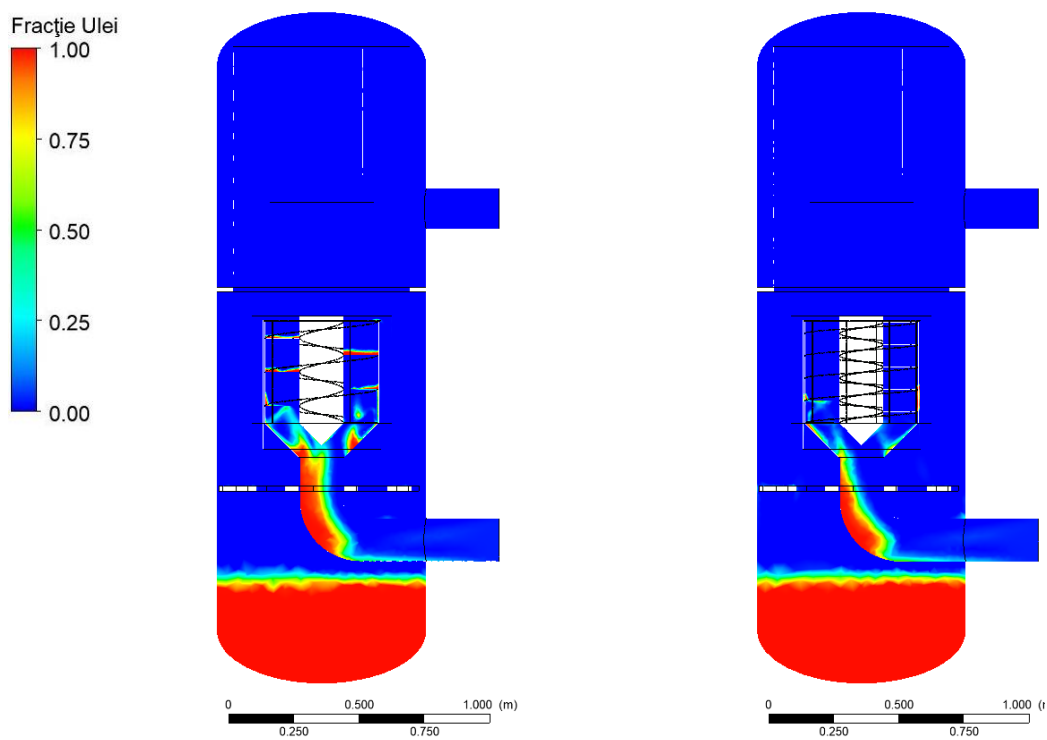


Figura 4.10. Volumele de gaz și ulei la momentul 5s

Se observă pătrunderea amestecului gaz-ulei în contul de admisie. Direcția de curgere se schimbă și sub efectul conului central se distribuie amestecul către admisia în separatorul centrifugal.

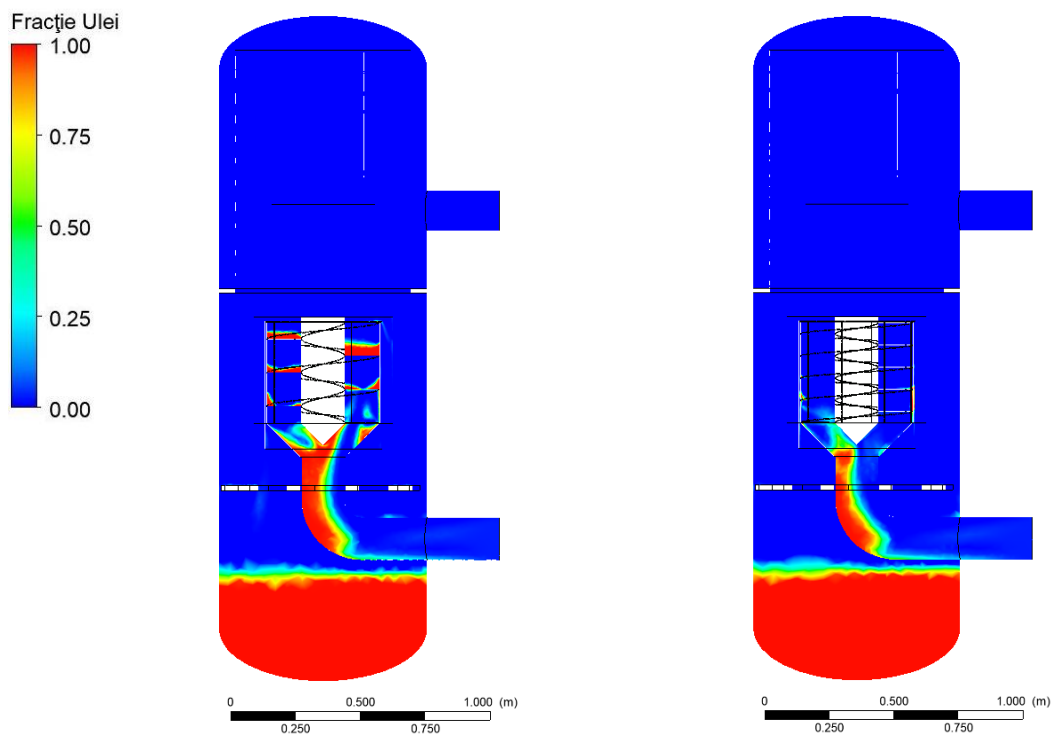


Figura 4.11. Volumele de gaz și ulei la momentul, 10s

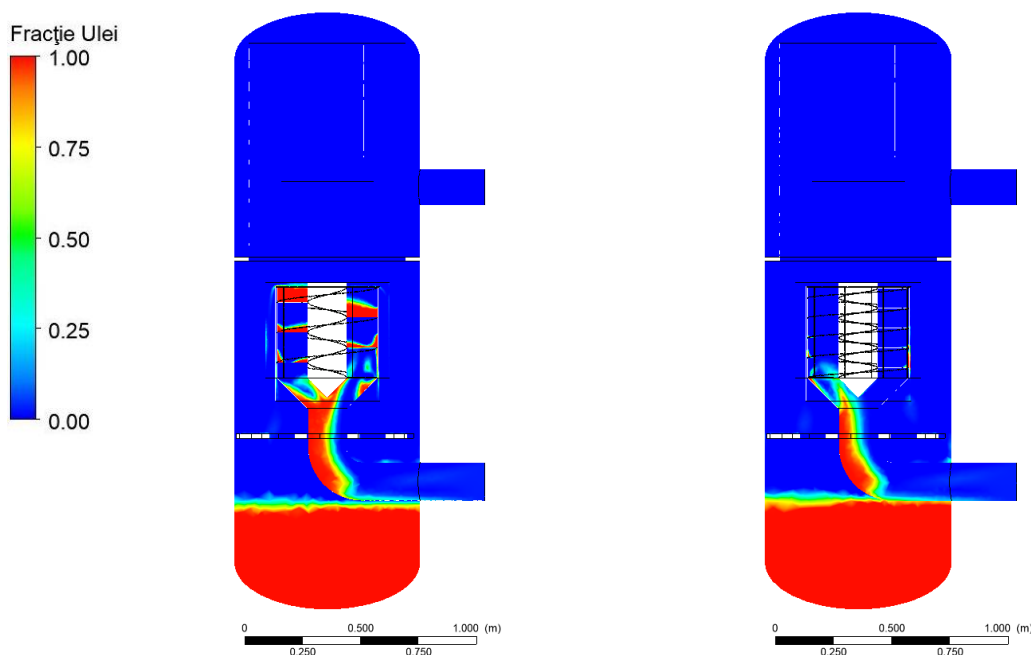


Figura 4.12. Volumele de gaz și ulei la momentul 20s

Se observă că separatorul centrifugal var. 1 nu lucrează corespunzător, deoarece o cantitate considerabilă de ulei parcurge spirala și a ajuns în partea superioară, în zona separării fluxurilor. Var.2 prezintă o funcționare corespunzătoare, uleiul fiind direcționat pe pereții cilindrului lateral și drenat ulterior prin fante. Numărul fantelor a fost suplimentat de la 4 la 8 și lățimea acestora a fost majorată la 1,5 mm

Se constată în ambele variante de calcul o acumulare substanțială de ulei în cotul de admisie, aspect care îngreunează procesul de separare, fiind o sursă

suplimentară de generare de picături de ulei. Soluția pentru rezolvarea acestui probleme funcționale propusă de autor este montarea unei conducte care să preia continuu uleiul acumulat în cot. A fost realizat un model 3D (varianta 1.1) care să conțină această modificare și de asemenea s-a realizat un calcul CFD cu această configurație. Modelul 3D, varianta 1.1., este identic cu varianta 1, la care s-a adăugat conducta de recuperare ulei din cot. Pentru rularea cazului s-au păstrat aceleași condiții inițiale, la care s-a adăugat condiția de ieșire a uleiului prin conducta de colectare.

Rezultatele acestui caz au fost în concordanță cu estimările inițiale – diminuarea cantității de ulei care se acumulează în cot. Însă, această configurație nu poate fi implementată în cazul vaselor separatoare existente, deoarece introducerea unei conducte suplimentare, care să treacă prin mantaua exterioară, implică modificări ale corpului de presiune, aspect interzis de prescripțiile Directivei de Presiune (PED). Configurația dezvoltată poate fi implementată în cazul construcției unui nou vas separator. Rezultatele rulării cazului var.1.1 nu au fost expuse în cadrul tezei. Sunt prezentate informativ mai jos două imagini care ilustrează configurația conductei introduse, respectiv fracția de ulei-gaz la momentul simulării de 15 s.

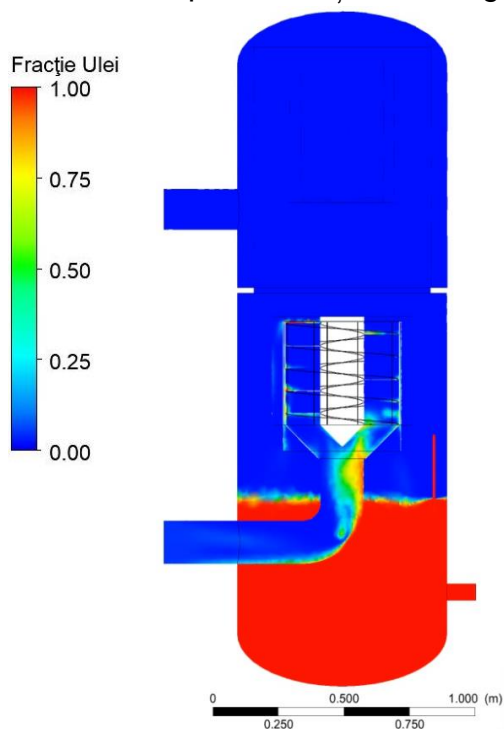


Figura 4.13. Frații volumice, $t=15s$

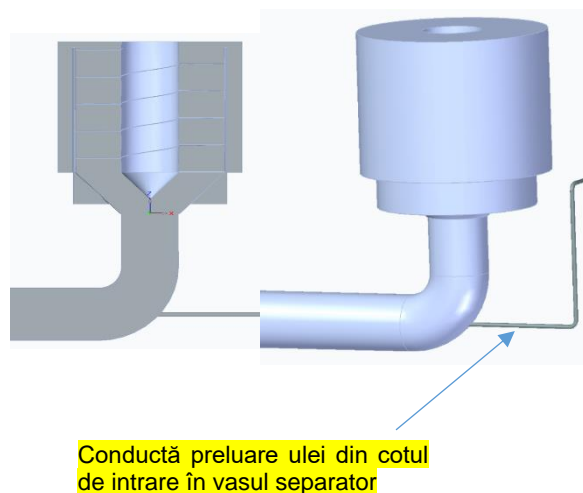


Figura 4.14. Configurație conductă de preluare ulei din cotul de intrare

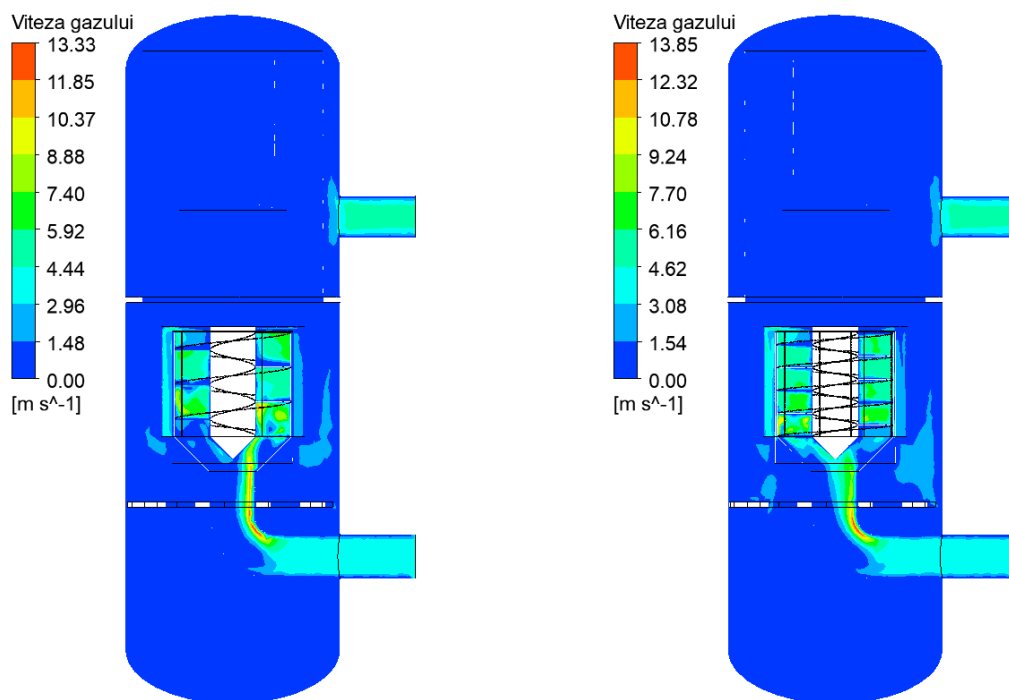


Figura 4.15. Viteza gazului la momentul 5s

Se observă creșterea vitezelor de parcurgere a separatorului centrifugal din echiparea variantei 2. Efectul micșorării secțiunii de trecere este unul benefic.

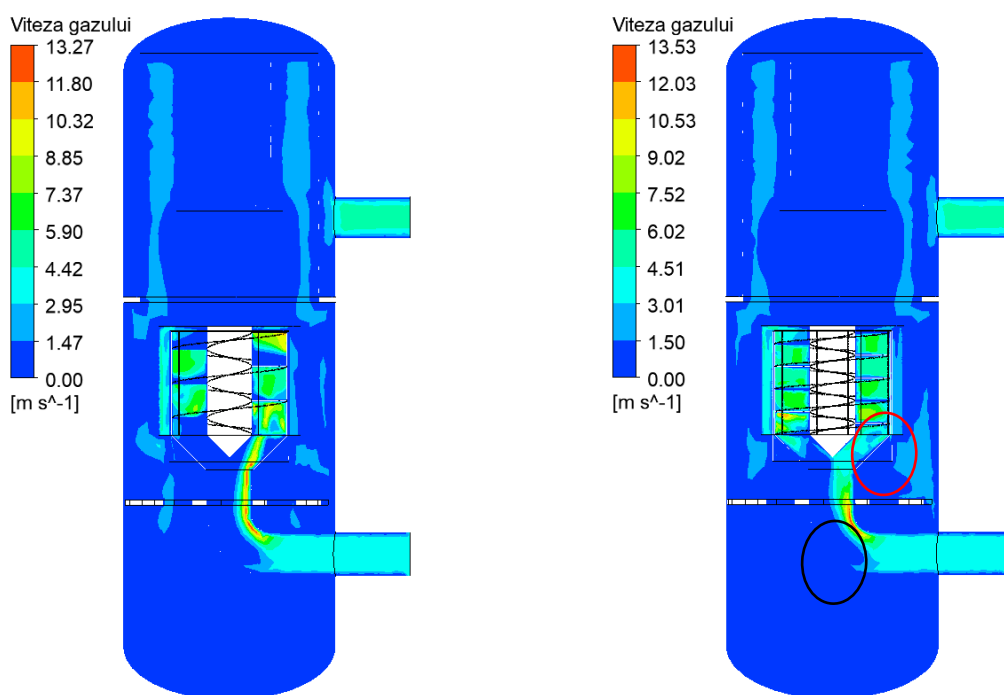


Figura 4.16. Viteza gazului la momentul 10s

Din cauza îngustării secțiunii de trecere, ca urmare a prezenței uleiului în stare lichidă, se observă că intrarea verticală în separator nu se realizează uniform. Prezența conului central îmbunătățește în general distribuția amestecului gaz-ulei la intrarea în separator.

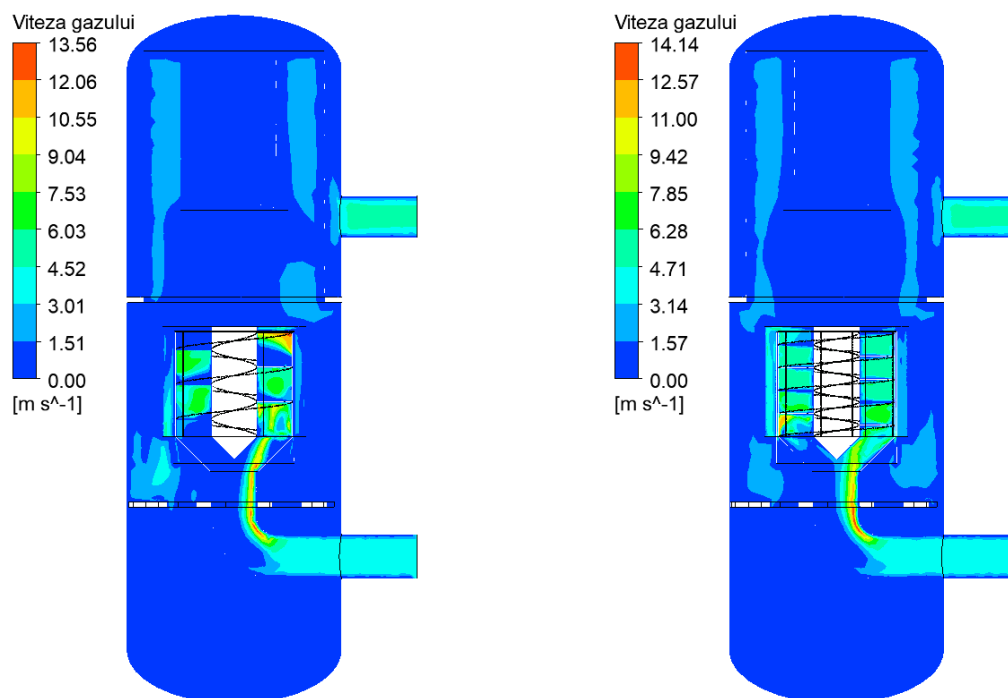


Figura 4.17. Viteza gazului la momentul 20s

Vitezele de parcurgere a celor 2 soluții de separare – separator centrifugal și filtru final coalescent se încadrează în limitele de funcționare. Există posibilitatea ca separatorul să lucreze la debite masice mai mari decât cel selectat pentru cazul de față, SEP putând echipa o gamă variată de unități de comprimare.

4.1.2. Modelarea curgerii prin sistemul de separare varianta 3

Considerând rezultatele corespunzătoare ale simulării numerice a SEP, varianta doi, s-a decis realizarea un studiu numeric extins, în varianta completă de echipare interioară. Așa cum s-a precizat anterior, excluderea din simulările anterioare a demisterului a fost realizată pentru simplificarea cazului de lucru și scurtarea timpului necesar pentru calcul. De asemenea au fost introduse și două racorduri de proces, conducta de DN50 prin intermediul căreia uleiul este preluat din vasul separator către sistemul de condiționare și injecție în compresor și o conductă de DN10, cu rol de preluare a uleiului care se poate acumula pe capacul superior al vasului și pe pereții interiori, după parcurgerea filtrului separator.

Pentru realizarea acestui studiu au fost păstrate același condiții de pregătire a cazului de lucru. Diferențele au constat în introducerea a încă unui subdomeniu poros-demisterul, cu implicațiile produse de această modificare: realizarea unei noi grile de calcul, stabilirea condițiilor pentru acest subdomeniu, etc.

În Figura 4.18 este prezentat domeniul solid al vasului separator în configurația completă de echipare: separator centrifugal, demister și filtru final coalescer.

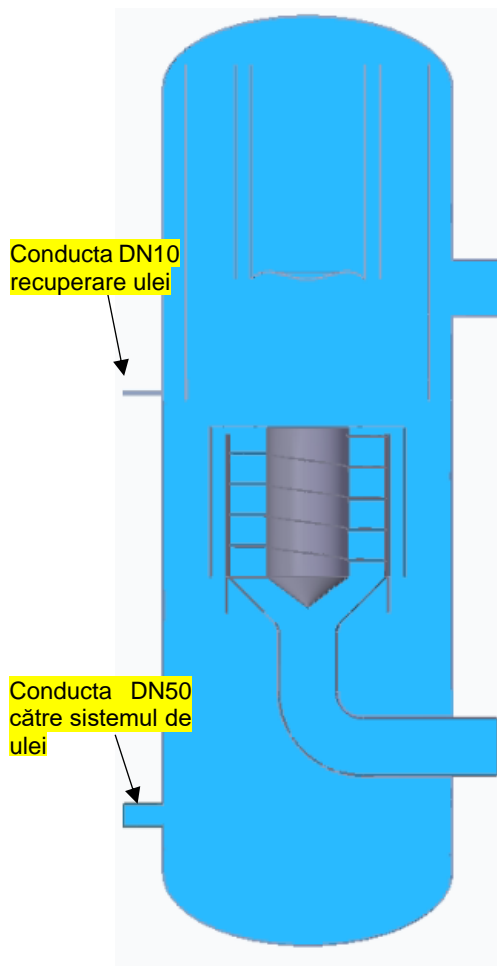


Figura 4.18. Domeniul fluid, var. 3

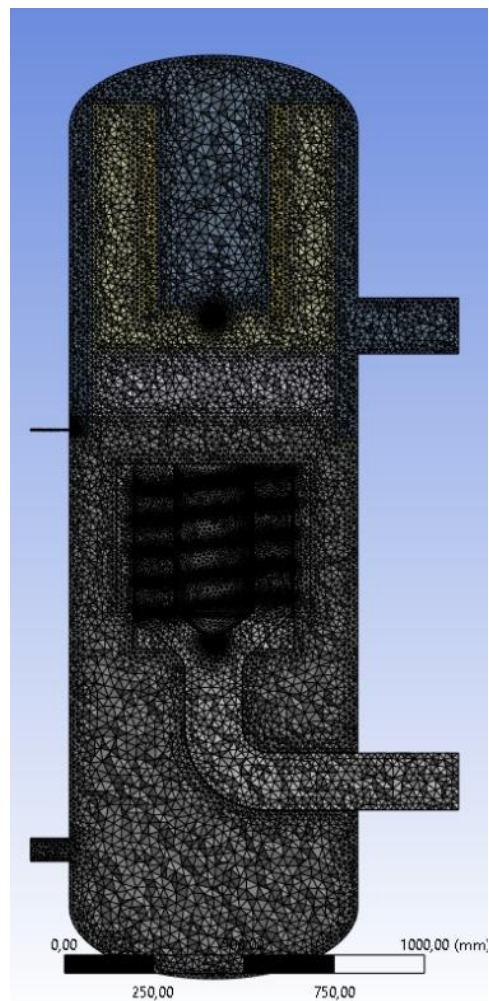


Figura 4.19. Grila de calcul- secțiune

Grila de calcul prezentată în Figura 4.19 a fost generată utilizând metode de grilare care au la bază mărimea maximă a elementului de 20mm, generându-se grile de calcul combinate (structurate și nestructurate), 4261516 de noduri și 11906316 de elemente. S-a aplicat o condiție de îndesire a grilei, având elementul minim de 3 mm la nivelul interfeței cu spirala și cilindrul intermediar al separatorului și pentru suprafețele demisterului și filtrului separator.

Pentru subdomeniul poros demister porozitatea a fost aleasă 0,95, modelul de pierdere izotrop și permeabilitatea $2,286 \times 10^{-10} \text{ m}^2$.

Cazul de lucru a rulat aproximativ 5 zile, rezultând o simulare a curgerii în vasul separator de aproximativ 20 de secunde. Pentru a nu încărca suplimentar prezentul material, deoarece unele rezultate sunt similare cu cele prezentate anterior, pentru cazul de lucru varianta 2, vor fi prezentate doar rezultatele obținute la moment de timp 15 și 20 secunde.

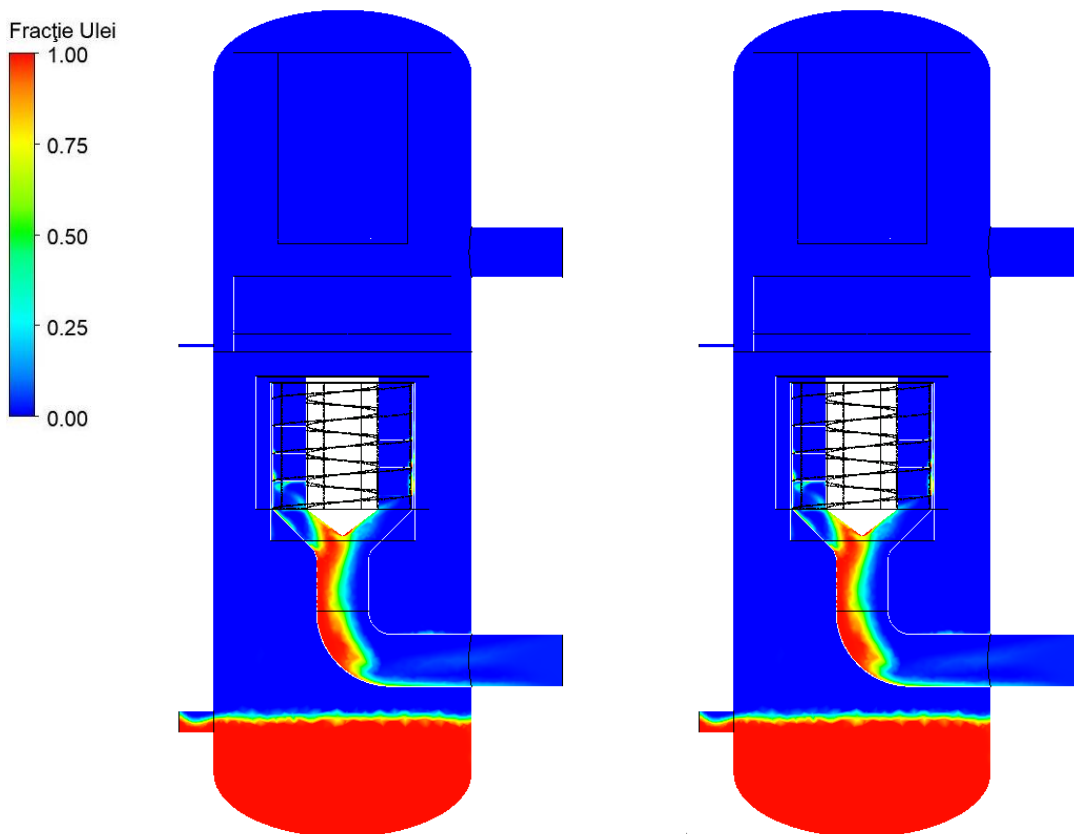


Figura 4.20. Frațiile volumice de gaz și ulei la momentul 15 și 20s

Se observă un comportament similar de lucru ca în cazul variantei 2. Introducerea demisterului nu modifică modul în care evoluează amestecul bifazic. Este confirmată funcționare corespunzătoare a întregului ansamblu, uleiul fiind separat corespunzător începând cu parcurgerea spiralei din componența separatorului centrifugal.

Figurile de mai jos ilustrează modificările realizate de autor pentru optimizarea funcționării separatorului centrifugal CENT. Aceste modificări au fost confirmate prin rezultatele rulării cazurilor în variantele doi și trei ale SEP.

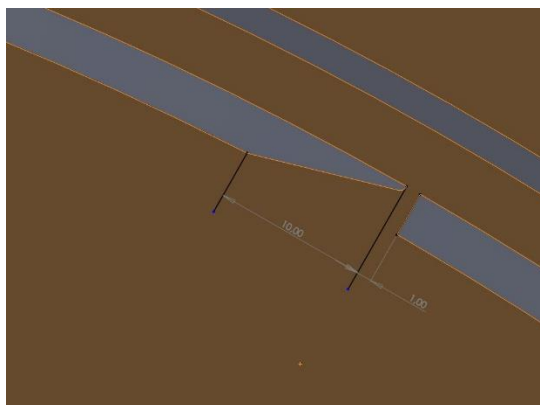


Figura 4.21. Geometrie cu 4 fante echidistante, CENT Var.1

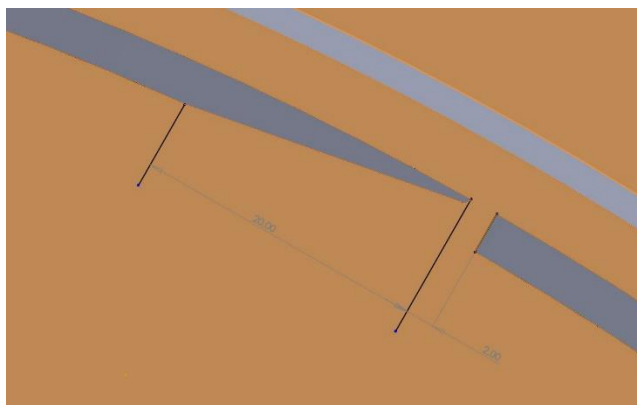


Figura 4.22. Geometrie cu 8 fante echidistante, CENT Var.2

Secțiunile transversale din imaginile de mai jos surprind modificările realizate la geometria separatorului centrifugal. Păstrând dimensiunile de gabarit, diametrul exterior și înălțimea totală, a fost îngustat canalul de lucru prin suplimentarea numărului de rotații complete ale spiralei.

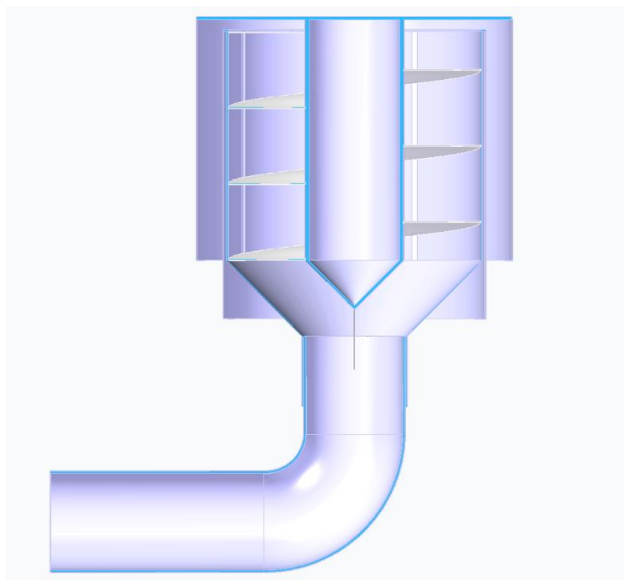


Figura 4.23. Spirală 3 rotații, Var. 1

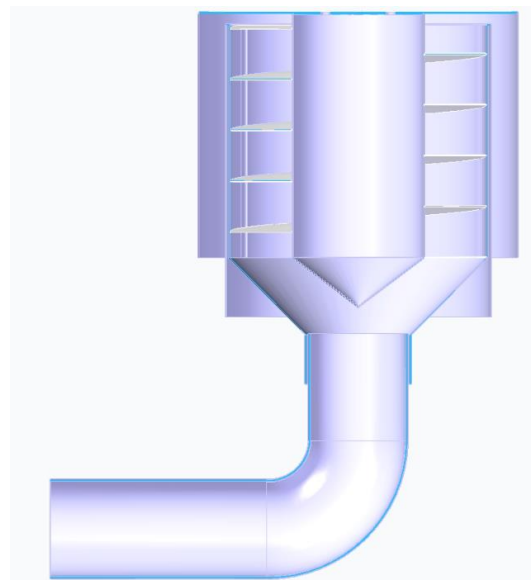


Figura 4.24. Spirală 4,5 rotații, Var. 2.

Pentru ilustrarea modului în care funcționează separatorul centrifugal, au fost realizate o serie de imagini sugestive în care este surprins modul convenabil în care lucrează spirala separatorului și fantele longitudinale. Uleiul este centrifugat pe peretele lateral al cilindrului și evacuat prin intermediul fantelor longitudinale, separând astfel fluxul de ulei separat din amestecul bifazic.

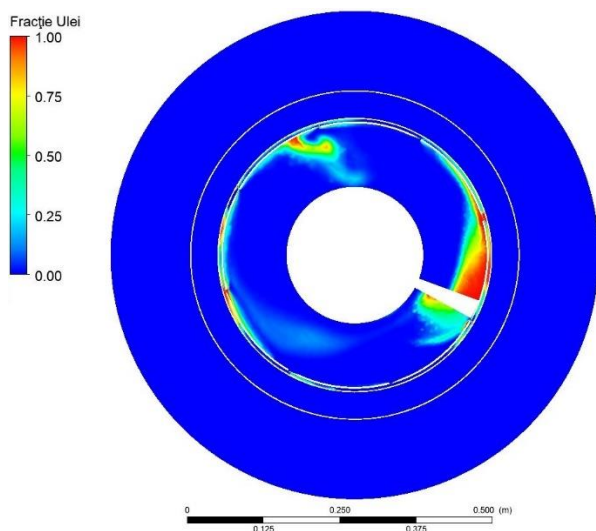


Figura 4.25. Sectiune ciclon, spirală 4,5 rotații, Var.2

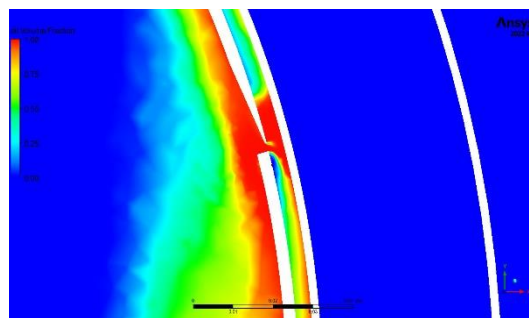


Figura 4.26. Detaliu secțiune

Faptul că uleiul este centrifugat și evacuat prin fantele longitudinale este relevant și în imaginile de mai jos. Se observă o cantitate mare de ulei la baza spiralei, în zona care este complet roșie. Pe măsură ce amestecul bifazic parcurge spirala, uleiul este separat și drenat progresiv. În zona superioară a spiralei nu se mai constată zone cu ulei, în fracție volumică =1

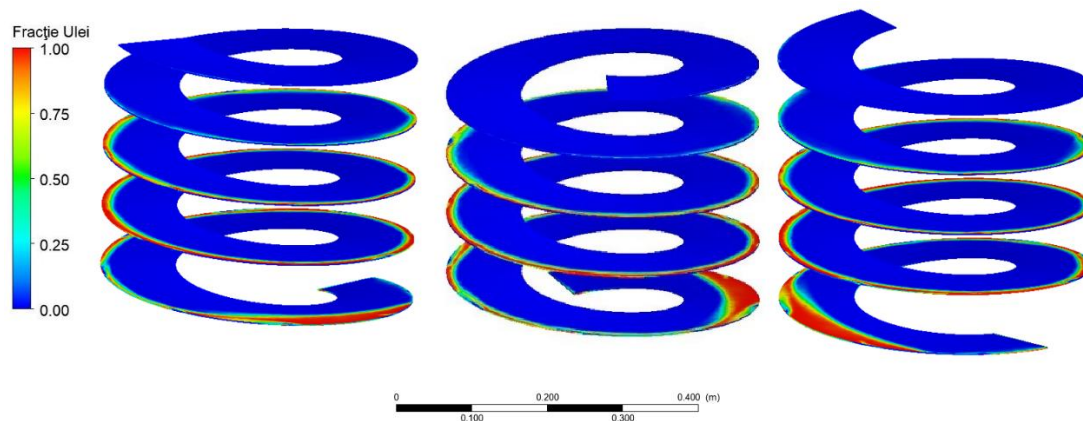


Figura 4.27. Succesiune de lucru separator centrifugal

Vitezele de parcurgere a treptelor de separare se încadrează în limitele de funcționare optimă. Se poate observa că vitezele maxime de 17,94, respectiv 19,14 m/s se înregistrează doar local, la intrarea în spirala separatorului centrifugal. Viteza medie de curgere prin separatorul centrifugal este de 9,5 m/s.

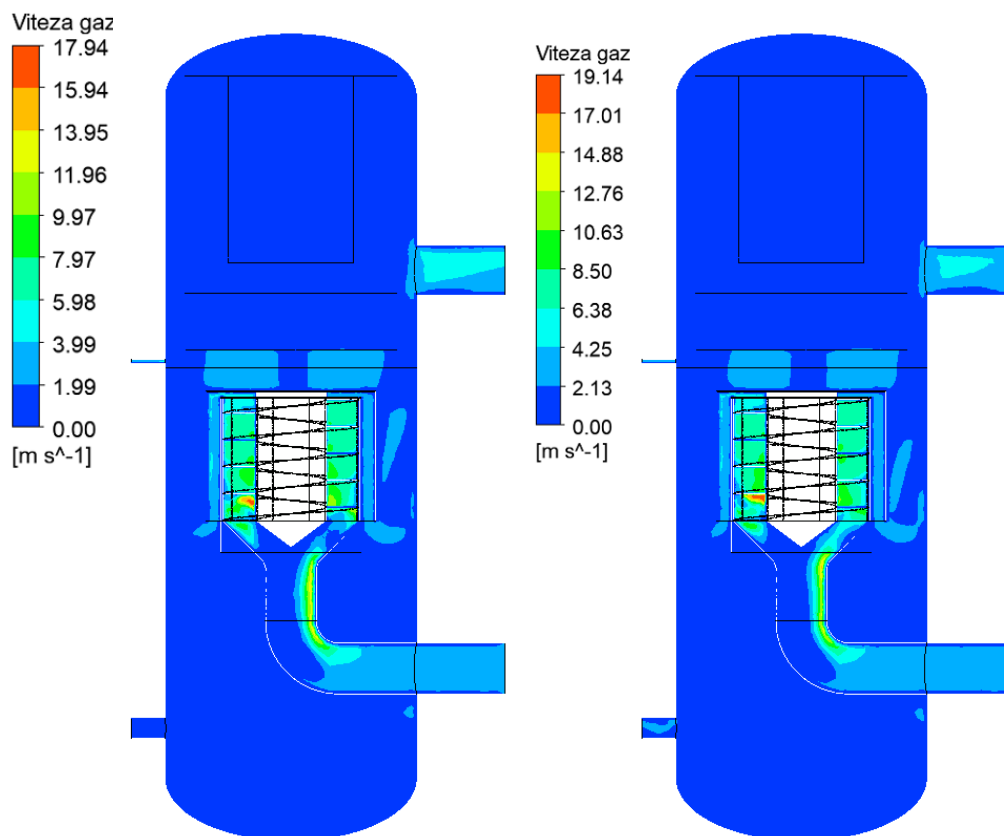


Figura 4.28. Viteza gazului la momentul de timp 15 și 20s

În urma rulării celor trei cazuri, pe lângă distribuțiile de viteze, fracții volumice gaz-ulei, presiune absolută și linii de curent, de interes pentru validarea geometrică și constituția a echipării vasului separator este cantitatea de ulei care este evacuată pe refulare împreună cu gazul comprimat. S-a verificat pentru toate cazurile prezentate care este cantitatea de ulei la pasul de timp 20 de secunde și s-a calculat eficiența de separare utilizând formula (4.1). Se poate constata că varianta 3 a SEP asigură o separare mai bună ca urmare a modificării geometriei separatorului centrifugal și a introducerii în simulare a demisterului

Se poate concluziona că modificarea pasului elicei și suplimentarea și lărgirea numărului fantelor au contribuit la îmbunătățirea performanțelor de separare ale SEP în varianta 2, respectiv varianta 3.

$$\eta_g = 100 \cdot \frac{m_{ulei, intrare} - m_{ulei, iesire}}{m_{ulei, intrare}} \quad (4.1)$$

Tabelul 4.5. Eficiența de separare a celor 3 variante calculate

	Debit intrare [kg/s]	Debit ieșire [kg/s]	Consum ulei pe zi [kg]	Consum lunar de ulei [kg]	η_g [%]
Varianta 1	1,946	7,4912E-06	0,6472	19,4172	0,9999962
Varianta 2		1,3292E-06	0,1148	3,4453	0,9999993
Varianta 3		1,0711E-06	0,0925	2,7763	0,9999994

4.2. Prezentarea etapei de proiectare și execuție a soluției constructive

Modelările și simulările curgerii amestecului bifazic prin sistemul de separare au facilitat optimizarea formelor geometrice și validarea soluțiilor abordate.

Toate elementele constituente ale separatorului sunt realizate din tabla de oțel carbon pentru uz universal, S235 JR, conform SR EN 10025-2. Grosimile tablelor utilizate sunt de 3 sau 5 mm. Echipările interioare ale vaselor separatoare se recomandă să fie realizate din oțel inoxidabil, 308 sau 316 L. Însă, pentru stabilirea funcționalității SEP și pentru a reduce costurile, într-o primă fază s-a decis utilizarea materialului S235 JR.

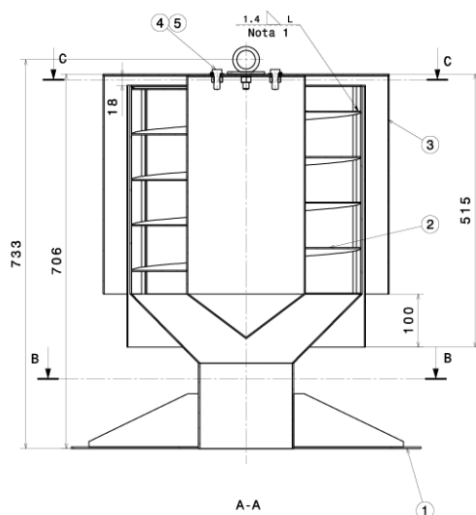


Figura 4.29. Ansamblu separator centrifugal



Figura 4.30. Detaliu de fabricație separator centrifugal

Separarea celor 2 fluxuri a ridicat probleme privind rigidizarea și modul de asamblare al separatorului centrifugal. Aceste probleme au fost ingenios rezolvate în urma unui studiu extensiv, adoptându-se soluțiile tehnice corespunzătoare. Cilindrul exterior pentru evacuare aer comprimat, poz.4 din Figura 4.29, se montează și centrează pe ansamblu central prin intermediul a patru șuruburi, poz.4.

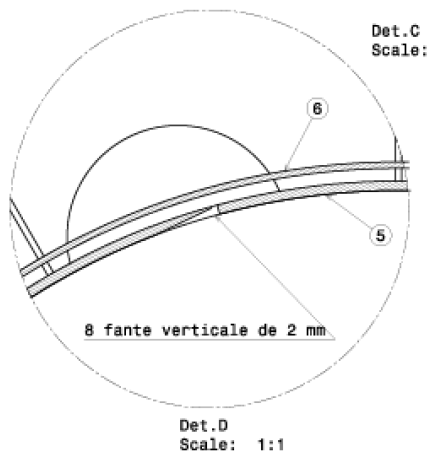


Figura 4.31. Detaliu de proiectare fante longitudinale



Figura 4.32. Detaliu de fabricație cilindru interior cu fante longitudinale

În etapa inițială de proiectare s-au prevăzut patru fante longitudinale. În urma simulării numerice a curgerii în interiorul vasului separator, s-a sesizat o acumulare de ulei pe pereții exteriori ai cilindrului poz. 5 din Figura 4.31, acumulare care urcă treptat pe spirala separatorului. S-a decis suplimentarea fantelor, varianta finală a separatorului centrifugal având prevăzută opt fante longitudinale. Pentru a facilita evacuarea uleiului separat s-a proiectat realizarea unor buzunare pentru evacuare, aspect ilustrat în detaliul din Figura 4.31. Aceste buzunare s-au obținut prin reducerea treptată a grosimii peretelui cilindrului interior, pe o lungime de 20 mm. Astfel s-a obținut un efect de pană, benefic pentru desprinderea filmului de ulei de pe perețele cilindrului. Acest buzunar reprezintă un element de noutate, față de alte soluții tehnice.



Figura 4.33. Detalii de fabricație cilindru interior cu fante longitudinale



Figura 4.34. Detalii de fabricație cilindru interior cu fante longitudinale



Figura 4.35. Detalii de fabricație cilindru exterior filtru separator



Figura 4.36. Detalii de fabricație demister T600-ø650x150 mm

În figurile 4.33 și 4.34 sunt prezentate detaliile de fabricație ale separatorului centrifugal, mai precis cilindrul cu fante longitudinale și cilindrul de separare ulei. Interstițiul dintre cei doi cilindri este de aproximativ 5 mm și se poate vedea în figura 4.34.

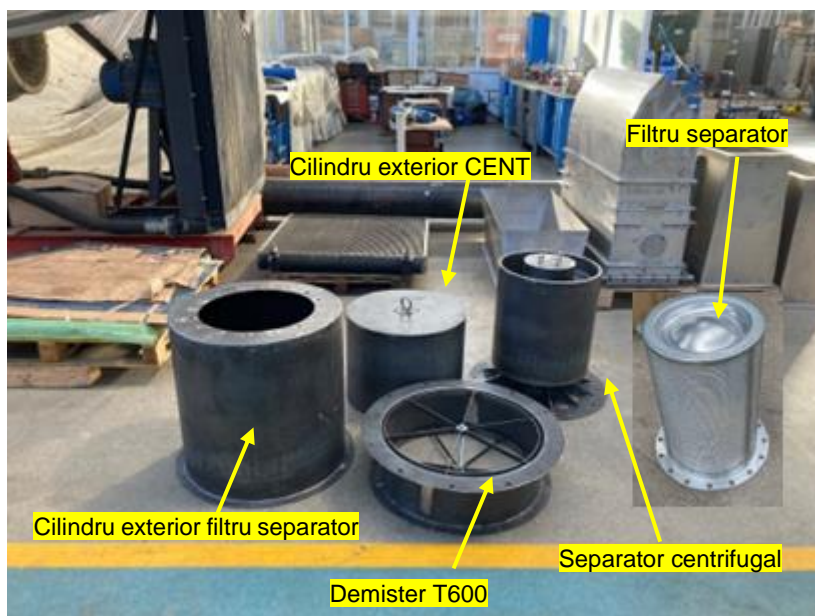


Figura 4.37. Elementele componente ale sistemului eficient de separare

4.3. Cercetări experimentale asupra sistemului eficient de separare gaz ulei

Standul de testare unități de comprimare cu șurub din dotarea COMOTI este ideal pentru experimentarea, stabilirea performanțelor și a limitelor de funcționare ale SEP, deoarece acesta asigură posibilitatea de variație în limite largi a unor parametri funcționali de interes precum: Presiune de refulare, domeniu de variație între 2 și 40 barg; Debitul de aer comprimat, între 200 și 2500 Nm³/h; Debitul de ulei injectat în

compresor, prezent în amestec, între 50 și 300 l/min; Temperatura aerului comprimat, între 60 și 95 °C;

Standul de testare este construit și echipat cu instrumente de comandă și control, în conformitate cu prescripțiile ISO 1217 și ASME PTC9.

Măsurătorile principalilor parametri funcționali ai procesului tehnologic se efectuează cu următorii traductori, dispozitive și aparate cu indicare locală:

Tabelul 4.6. Lista instrumentării de interes pentru experimentarea SEP

Parametru măsurat	Dispozitiv	Semnal/ Ø cadran	Producător	Model	Interval măsură	Acuratețea
Presiune aer și ulei	Traductor de presiune	4÷20mA	Endress+ Hauser	PMP-51	0÷60 bar	0,15%
	Manometru cu element elastic	Ø100	Badotherm	BDT18A	0÷60 bar	1.6%
	Manometru presiune diferențială	Ø 80	Hirlekar Precision	200 DGP	0÷0,6 bar	±2%
Temperatură aer/ulei/ apă răcire	Termorezistentă Pt100	4÷20mA	Endress+ Hauser	TR10	-30÷150°C	AA*
	Termometru mecanic cu bimetal	Ø100	Badotherm	BDTE18	-30÷150°C	1%
Debit ulei	Debitmetru cu turbină	4÷20mA 0÷5 VDC	Flo-tech	F6204-A	3-151 lpm	±1%
Debit aer comprimat	Traductor multivariabil	4÷20mA	Rosemount	305S		0,05
Cuplu arbore compresor	Convertor de cuplu	-10÷10V	HBM	T40B	Max 2 kN	0,05
Turație arbore compresor	Senzor de viteză inductiv	40 V (P-P)	AI-Tek+ Tachpak30	70085-1010-137		

± (0.1 + 0.0017 (Valoare absolută temperatură, °C))

Toate înregistrările parametrilor funcționali sunt obținute prin conversia de către PLC a semnalelor electrice generate de către traductorii de proces prezentați în Tabelul 4.6. Valorile tuturor parametrilor de interes sunt înregistrate la un interval de 1 secundă în memoria calculatorului de proces și exportate într-un fișier tip Excel.

Configurația de testare și disponerea instrumentării sunt prezentate în Figura 4.38 și respectă cerințele stipulate în API619 și ISO 1217 [12], [13].

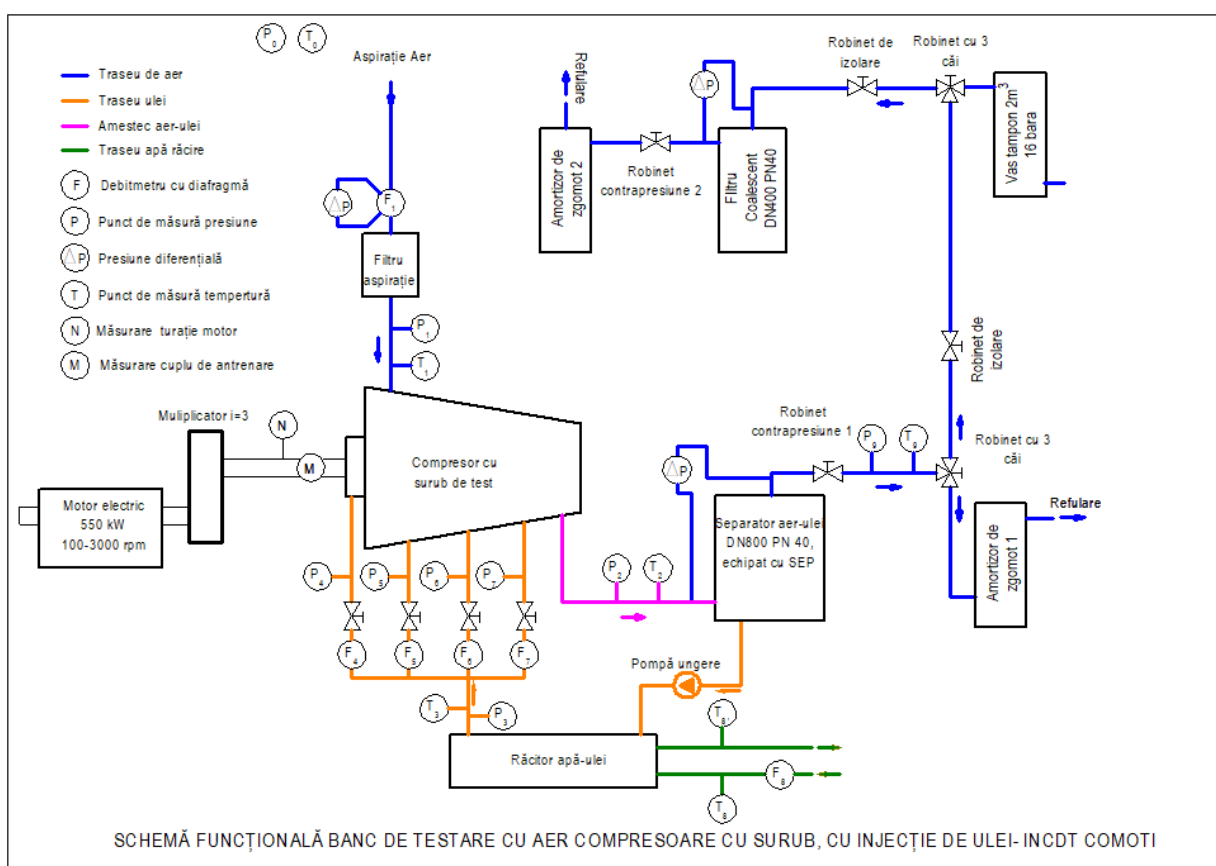
În amonte de unitatea de comprimare este prevăzut un filtru de aspirație DN200 PN16 cu rol de reținere totală a suspensiilor solide din aer, cu dimensiunile mai mari de 20 μm

Debitul de aer vehiculat se măsoară pe conducta de aspirație a compresorului, utilizând un dispozitiv de ștrangulare a curgerii (diafragmă) în conformitate cu standardul ISO 5167, părțile 1 și 2. Valoarea căderii de presiune măsurată pe cele două fețe ale diafragmei și valoarea temperaturii aerului, măsurată după diafragmă, sunt procesate de către un traductor multivariabil de debit, rezultând debitul vehiculat de compresor.

Aspirația aerului în compresor se realizează prin intermediul unui furtun flexibil de DN200 PN6, care permite montajul rapid a diferitelor unități de comprimare, care necesită testare pe stand. De asemenea acesta are rol de a nu transmite sau amplifica vibrațiile unității de comprimare către conductele rigide de pe aspirație.

Multiplicatorul de turație are rolul de a asigura multiplicarea turației motorului electric pentru a acoperi o gamă cât mai variată de turații. Raportul de multiplicare asigurat este de 3. Motorul electric de antrenare este produs de Electroputere și dezvoltă o putere de 550 kW și o turație maximă de 3000 rpm. Motorul este alimentat în curent continuu.

Sistemul de ungere al compresorului este prevăzut cu pompă principală de ungere care permite operarea compresorului și la presiuni mici de refulare. Fiecare traseu de injecție ulei în compresor este instrumentat cu traductor de presiune și debitmetru. Pe fiecare traseu este montat câte un drosel de traseu care permite reglarea debitului de ulei injectat pentru lubrifiere și răcire.



Explicitarea indicilor utilizați în schema tehnologică:

- 0 - Punct de măsură (PM) condiții atmosferice
- 1 - PM la intrarea în unitatea de comprimare de test
- 2 - PM pe conducta de refulare compresor
- 3 - PM pe conducta de alimentare cu ulei
- 4 - PM pe conducta de injecție ulei în etansare
- 5 - PM pe conducta de injecție ulei în multiplicator și lagăre față
- 6 - PM pe conducta de injecție ulei răcire compresor
- 7 - PM pe conducta de injecție ulei în lagăre față și piston de echilibrare forță axială
- 8 - PM conductă de alimentare apă
- 9 - PM pe conducta de refulare din SEP

Figura 4.38. Configurația de testare a SEP [13]

Uleiul este răcit cu apă într-un schimbător de căldură apă-ulei, în construcție tubulară. Prin intermediul unei pompe cu turație variabilă, debitul apei de răcire este controlat pentru a asigura o temperatură a uleiului de injecție între 40 și 60°C.

Înainte și după fiecare echipament principal sunt montați traductori de presiune și temperatură. Pentru instrumentarea locală sunt montate pe instalație manometre și termometre. În Figura 4.40 este pusă în evidență instrumentarea Vasului separator, în conformitate cu schema tehnologică prezentată anterior.

La ieșirea din vasul separator, prin poziția de lucru a robinetului cu trei căi, aerul comprimat refulat din SEP poate fi dirijat către amortizorul de zgomot 1, fiind evacuat ulterior în atmosferă, sau poate fi direcționat către filtrul coalescent DN400 PN40 și ulterior către amortizorul de zgomot 2.

Pentru determinarea performanțelor globale ale sistemului eficient de separare, se vor colecta picăturile rămase în suspensie în aerul comprimat la ieșirea din SEP, putându-se determina ulterior, prin aplicarea metodei gravimetrice prezentată în subcapitolul 2.5, conținutul de ulei rezidual în aerul comprimat, la ieșirea din SEP. Filtrul coalescer DN400PN40 din dotarea standului, cu diametrul nominal de 400 mm și presiunea nominală 40 bar, are în componență 2 trepte de reținere, una inerțială și una formată din 5 filtre coalescere 6CU-280x1, produse de firma Parker Finite. Elementele filtrante sunt capabile să rețină în proporție de 100% picăturile mai mari de 1 μm .

Pentru a monitoriza căderile de presiune pe treptele de separare se vor utiliza cele două traductoare de presiune la intrare și la ieșire din vas P_2 și P_9 , dar și manometrul diferențial. Pe parcursul experimentărilor se vor monitoriza variațiile căderilor de presiune în raport cu debitul și presiunea de refulare



Figura 4.39. Vederi de ansamblu a facilității de testare.

În Figura 4.39 sunt ilustrate principalele subansambluri din componența standului de testare unității de comprimare. Compresorul cu șurub utilizat este cu injecție de ulei, tipul CHP220, cu performanțele globale prezentate în tabelul de mai jos. Compresorul acoperă o plajă largă de regimuri de funcționare și este utilizat în general ca sursă de aer pentru diferite proiecte de cercetare derulate în COMOTI.

Tabelul 4.7. Caracteristici tehnice ale compresorului de test - CHP220

Parametrul	UM	Valoare
Volumul aspirat	m ³ /h	440-2145
Turație (min.-max.)	Rpm	600-3000
Presiunea de aspirație (max.)	bara	9
Presiunea de refulare (max.)	bara	45
Raportul volumetric		3.5
Dimensiuni de gabarit (LxWxH)	mm	1242x818x706
Masa	kg	1686
Puterea consumată (max.)	kW	1000

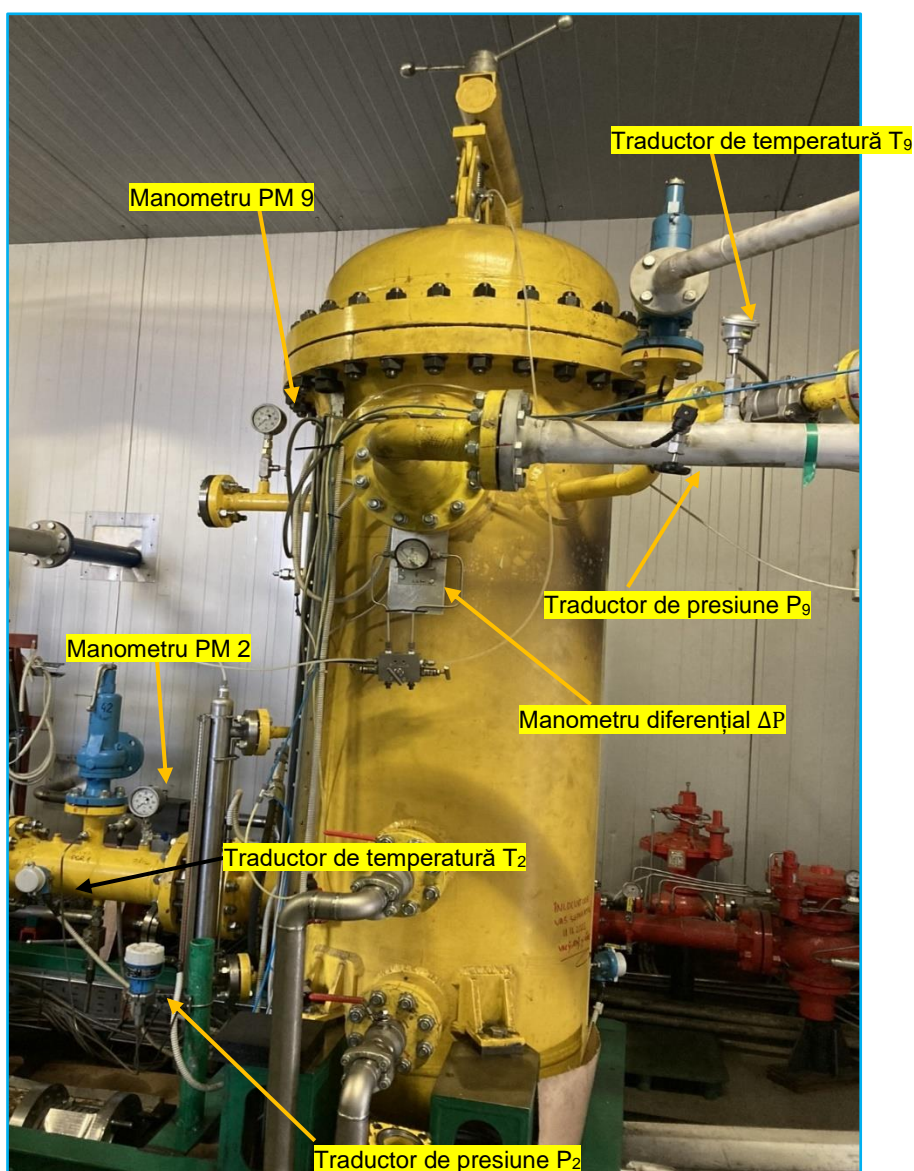
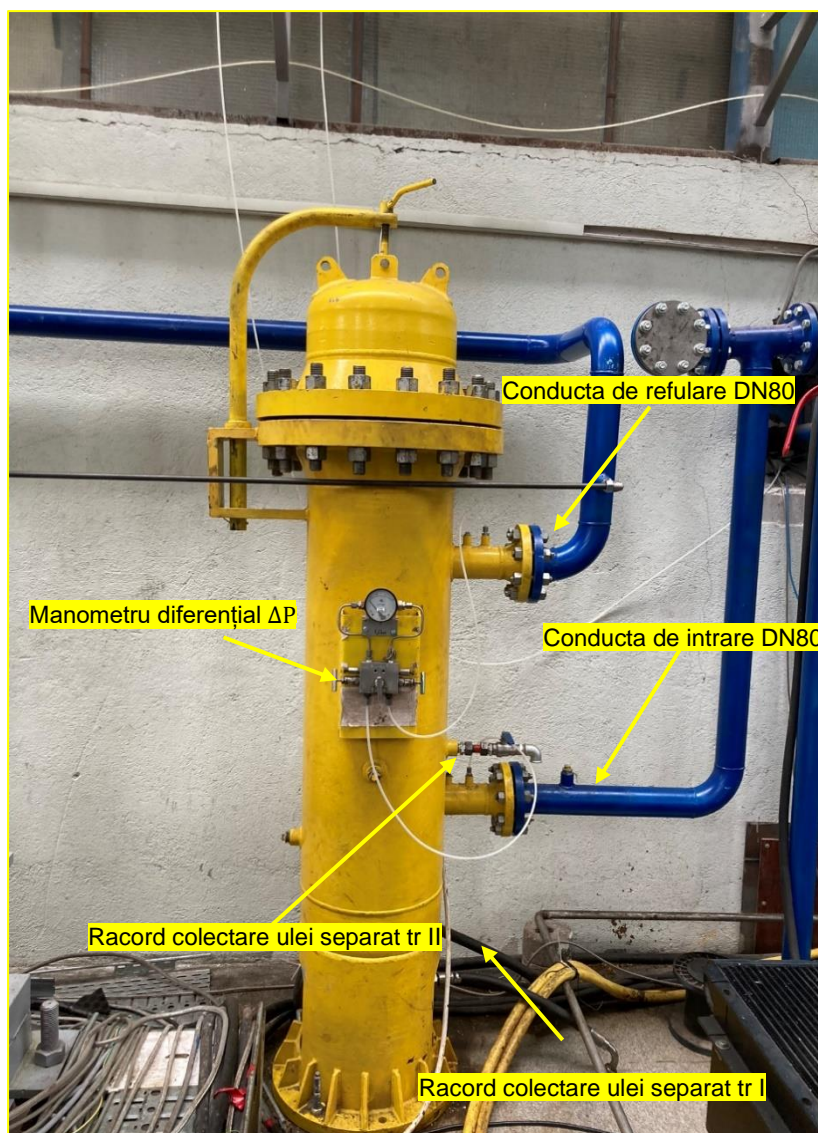


Figura 4.40. Instrumentarea Vasului separator DN800 PN50



Pentru monitorizarea funcționării filtrului coalescent s-a montat manometru diferențial, care va evidenția variația căderii de presiune la diferite regimuri de funcționare. La începutul campaniei de experimentale filtrul coalescer a fost curățat și elementele filtrante coalescere au fost înlocuite cu unele noi. Pentru colectarea uleiului separat sunt prevăzute 2 racorduri echipate cu robinete manuale. Se estimează că în treapta I de separare inerțială va fi colectată o cantitate mică de ulei, deoarece picăturile de ulei care scapă din SEP sunt de mici dimensiuni și ele nu mai pot fi reținute sub efectul centrifugării. Treapta II de separare va reține toate picăturile peste 1 μ m

Figura 4.41. Filtru coalescent DN400 PN 40

Parametrii de interes înregistrați pentru analiza ulterioară a performanțelor SEP sunt:

- presiunea și temperatura de refulare a aerului comprimat/intrarea în vasul separator;
- turație compresor;
- presiunea și temperatura aerului comprimat la ieșirea din vasul separator;
- puterea consumată de motorul electric de antrenare compresor
- presiunea și temperatura uleiului după răcitorul de ulei;
- debitul de aer aspirat;
- debitele de ulei, în fiecare punct de injecție a uleiului (etanșare, lagăre de intrare, rotori, lagăre refulare)
- presiunea uleiului în fiecare punct de injecție a uleiului;

Pe parcursul etape de experimentare nu a fost impus un regim de funcționare fix, deoarece standul de încercări a trebuit să furnizeze aer comprimat pentru două instalații ale COMOTI, aflate de asemenea în faza de experimentare. Astfel, ansamblul

de comprimare a funcționat raportat la cerințele specifice de funcționare ale acestor instalații, compresorul avândul regim de funcționare variabil, valorile medii și maxime ale parametrilor de interes fiind prezentate mai jos, sub formă tabelară. Se poate observa că ansamblul de comprimare și implicit SEP a funcționat în general la alt regim de funcționare față de cel stabilit în etapa de proiectare și pentru care s-au realizat simulările numerice ale curgerii.

Tabelul 4.8. Valorile medii și maxime ale principalilor parametri înregistrați pe parcursul experimentării

Parametrul	Simbol	Valoare medie	Valoare maximă
Turație compresor (rpm)	NCHP	699,97	2.041,39
Debit de gaz comprimat (Nm ³ /h)	QV	637,58	1.845,65
Presiunea de intrare separator (barg)	P2	5,64	13,35
Presiunea refulare separator (barg)	P9	5,59	13,28
Cădere de presiune pe SEP (bar)	ΔP	0,05	1,89
Debit total de ulei compresor (l/min)	Qu	122,72	229,29
Temperatura aerului comprimat (°C)	T2	58,69	81,15
Puterea consumată (kW.)	P ax	55,64	252,80

Debitul de ulei injectat în compresor a fost mare, raportat la regimul de lucru-presiune de refulare și debitul de aer comprimat. Se poate observa că temperatura medie a aerului comprimat a avut o valoare medie de 58,69 °C.

S-a remarcat că în anumite puncte de funcționare s-a înregistrat o creștere a căderii de presiune pe SEP. Analizând înregistrările efectuate s-a observat că în secvența de oprire a compresorului, când robinetul manual de contrapresiune se deschide pentru a elimina presiunea din sistem, presiunea din vasul separator scade la zero în câteva secunde. Deoarece viteza gazului prin SEP crește ca urmare a destinderii bruște, debitul care parcurge separatorul este mai mare față de cel proiectat. Se consideră că acest comportament al SEP este normal. În momentele de funcționare staționară căderea de presiune a variat între 0,05 și 0,15 bar, indiferent de presiunea de lucru și de debitul vehiculat.

În condiții de funcționare în mediu industrial, ansamblul de comprimare funcționează la parametri funcționali care variază relativ lent în timp. Regimurile tranzitorii în funcționarea unui ansamblu de comprimare cu șurub sunt în etapele de pornire și oprire. Un caz special în care presiunea de refulare scade brusc, asemănător funcționării în configurația de testare a SEP, este în momentul opririlor de urgență (apăsarea butonului ciupercă sau căderea de tensiune a stației) și tot volumul de gaz din ansamblu, comprimat la presiunea de lucru, este evacuat rapid prin sistemul de cos prin deschiderea comandată de PLC a unui electroventil.

Căderea de presiune pe un sistem de separare, de-a lungul perioadei de exploatare, este un parametru extrem de important. Utilizarea unui sistem de comprimare gaz, care lucrează cu o cădere mare de presiune pe sistemul de separare gaz- ulei va determina un consum suplimentar de energie.

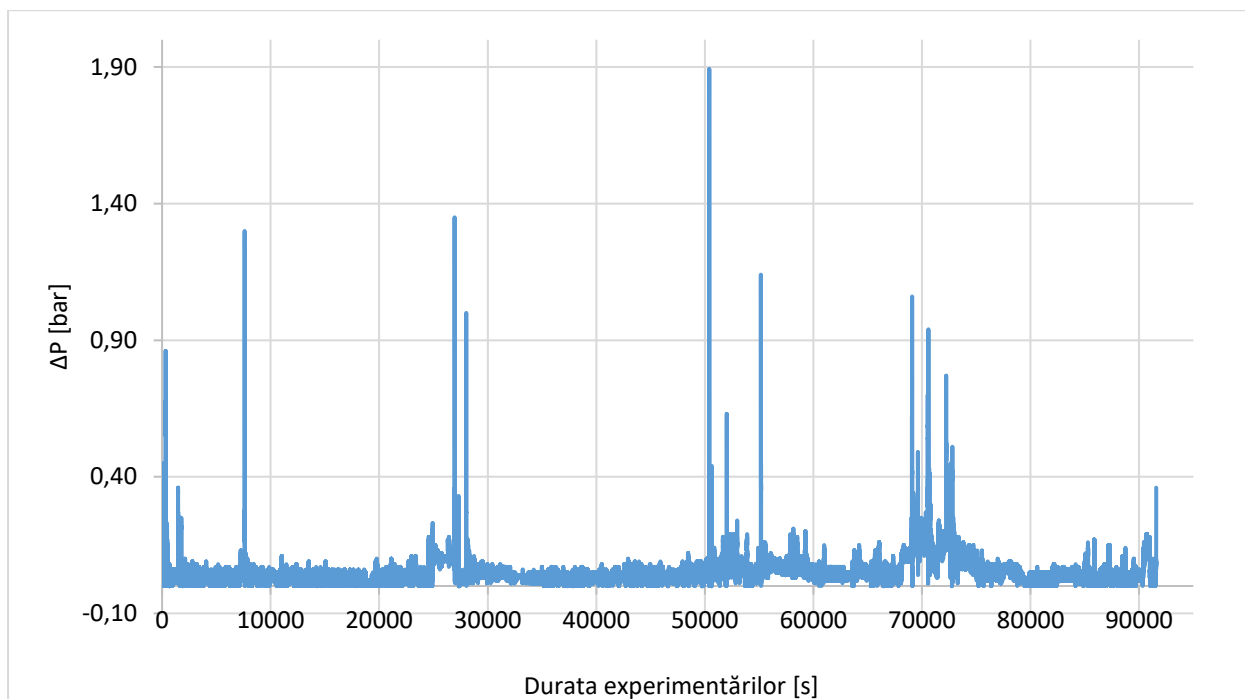


Figura 4.42. Valoarea căderii de presiune pe SEP în 25 de ore de funcționare

Având în vedere volumul conductelor și vasului separator se poate calcula masa de gaz comprimat din sistem și ulterior debitul mediu de gaz care trece prin SEP în momentul destinderii. În intervalul 5-14 secunde s-a destins o masă de 8 kg, conținută în sistemul de conducte și vasul separator. Considerând un debit mediu de 0,8 kg/s, la care se adaugă debitul vehiculat de compresor, acesta având turația fixă, de 0,22 kg/s, rezultă un debit total de 1,02 kg/s care a parcurs SEP pentru 10 s, determinând o cădere de presiune de 1,89 bar.

Analizând aceste valori se poate concluziona că SEP are un comportament bun în ceea ce privește căderea de presiune la diferite regimuri de funcționare.

Tabelul 4.9. Parametrii înregistrați premergător opririi compresorului

timp [s]	P ₂ [barg]	T ₂ [°C]	P ₉ [barg]	T ₉ [°C]	ΔP	timp [s]	P ₂ [barg]	T ₂ [°C]	P ₉ [barg]	T ₉ [°C]	ΔP
1	5,29	65	5,26	57,15	0,03	11	2,12	64,85	0,91	56,8	1,21
2	5,29	65	5,25	57,15	0,04	12	1,71	64,85	0,70	56,4	1,01
3	5,29	65	5,25	57,15	0,04	13	1,39	64,85	0,58	55,7	0,81
4	5,29	65	5,26	57,15	0,03	14	1,16	64,75	0,50	55,15	0,66
5	5,29	65	4,54	57,15	0,75	15	0,97	64,75	0,46	54,65	0,51
6	5,01	64,9	3,38	57,2	1,63	16	0,86	64,75	0,39	54,4	0,47
7	4,39	64,95	2,50	57,15	1,89	17	0,73	64,7	0,34	53,75	0,39
8	3,67	64,9	1,91	57,1	1,76	18	0,62	64,65	0,33	53,1	0,29
9	3,09	64,85	1,48	57,1	1,61	19	0,58	64,55	0,32	52,5	0,26
10	2,53	64,85	1,16	57,05	1,37	20	0,53	64,5	0,27	52,05	0,26

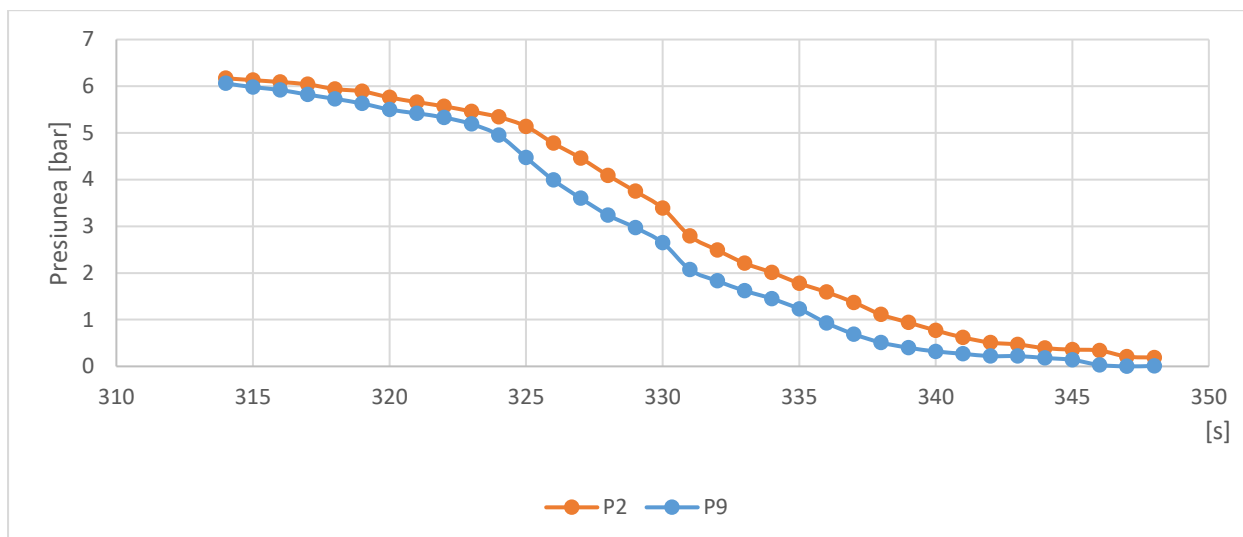


Figura 4.43. Presiune de intrare/ieșire din SEP în secvența de oprire a compresorului

Se recomandă deschiderea progresivă a robinetului de menținere a contrapresiunii pentru a asigura buna funcționare a sistemului de separare. Destinderea bruscă a gazului comprimat dintr-un vas separator favorizează inundarea treptelor de separare gaz- ulei și determină pierderea de ulei în sistemul de eșapare. În anumite condiții de temperatură și presiune apare fenomenul de dizolvare gaz comprimat în ulei. În momentul destinării, moleculele de gaz amestecate cu ulei vor fi evacuate rapid, determinând și antrenarea de picături de ulei.

Pentru a preîntâmpina problemele de antrenare a uleiului, pe lângă deschiderea progresivă, manuală sau comandată a organelor de manevră, pe sistemul de eșapare la coș trebuie prevăzute diuze cu orificii calibrate, calculate pentru a permite destinderea controlată a gazului comprimat. Nu se montează niciodată restrictoare pe sistemul de cos conectat la sistemele de siguranța ale vasului separator-supapă de siguranța sau membrană de rupere.

Din datele experimentale înregistrate în prima etapă de experimente s-a extras și următorul regim de funcționare, ilustrat grafic în Figura 4.44, în care compresorul a funcționat la un debit refulat mai mare, furnizând aer comprimat care a fost stocat într-un rezervor tampon.

Durata acestui regim de funcționare a fost de 0,57h (20500 s). Din cazul prezentat se observă funcționarea în bune condiții a SEP, fără căderi mari de presiune chiar la depășirea limitelor de funcționare, deoarece debitul maxim de gaz separat a fost de 44.296 Nm³/zi, față de maxim 35.000 Nm³/zi, propus în etapa de proiectare. În aceste condiții, căderea de presiune a fost de maxim 0,770 bar.

Tabelul 4.10. Valorile medii, minime și maxime ale parametrilor în regimul de funcționare analizat

Parametrul	Simbol	Valoare medie	Valoare minimă	Valoare maximă
Turație compresor (rpm)	NCHP	1.743,81	765,35	2.038,56
Debit de gaz comprimat (Nm ³ /h)	QV	1.551,31	713,57	1.845,65
Presiunea de intrare separator (barg)	P2	9,04	2,04	13,29
Presiunea refulare separator (barg)	P9	8,85	1,89	13,20

Cădere de presiune pe SEP (bar)	ΔP	0,18	0,03	0,77
Debit total de ulei compresor (l/min)	Q_u	178,57	104,80	222,58
Temperatura aerului comprimat ($^{\circ}C$)	T_2	71,69	54,50	81,15
Puterea consumată (kW.)	P_{ax}	182,27	43,48	252,80

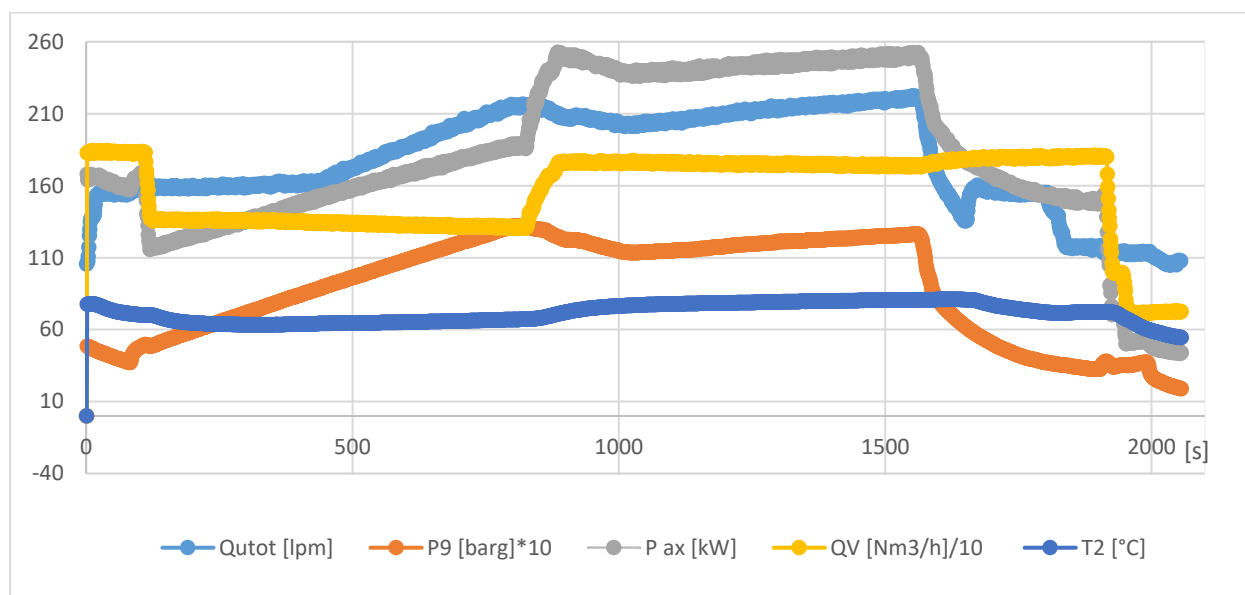


Figura 4.44. Variația principalilor parametri funcționali de interes pe durata unui regim de încărcare vas tampon

Pentru încadrarea tuturor curbilor de variație a parametrilor analizați, în cadrul aceluiași grafic, valorile presiunii de refulare P_9 au fost multiplicat cu 10, iar valorile debitului volumic de aer au fost împărțite cu 10.

Pe parcursul etapei de experimentare s-a colectat de două ori lichidul reținut în cele 2 compartimente de colectare ale filtrului coalescer ASF400PN40, la 14 și respectiv 25 de ore de funcționare.

Pentru calculul cantității de ulei rezidual la ieșirea din vasul separator se utilizează metoda de calcul aplicată anterior în cazul sistemului convențional de separare, în conformitate cu ISO 8573-1.

$$X = \frac{V \cdot \rho}{q \cdot H \cdot 3600} 10^6 \quad (4.2)$$

Tabelul 4.11. Calculul cantității de ulei rezidual după 12 h de funcționare

V- volumul de ulei colectat (l)	0,25
q- debitul mediu volumic gaz (l/s) exprimat în condiții standard	204,72
H- durata testului (h)	12
ρ - densitatea uleiului (kg/m ³)	880
X- cant. ulei rezidual la ieșirea din SEP (mg ulei/Nm ³ aer)	24,88
X- ppm (mg/kg)	19,28

După 13 h de funcționare, cantitatea colectată de ulei, reținută de filtrul coalescer a fost de 200 ml. Aplicând relația (4.2) a rezultat un conținut rezidual de ulei de 20,554 ppm, exprimat în raport de masă.

Tabelul 4.12. Calculul cantității de ulei rezidual după 25 h de funcționare

V- volumul total de ulei colectat (l)	0,45
q- debitul mediu volumic gaz (l/s) exprimat în condiții standard	190,28
H- durata testului (h)	25
ρ - densitatea uleiului (kg/m ³)	880
X- cant. ulei rezidual la ieșirea din SEP (mg ulei/Nm ³ aer)	23,12
X- ppm(mg/kg)	17,93

După 25 h de funcționare, considerând debitul mediu de aer comprimat, cantitatea colectată de ulei, reținută de filtrul coalescer, a fost de 200 + 250 ml. Aplicând din nou relația (4.2) a rezultat un conținut rezidual de ulei de 17,93 ppm, exprimat în raport de masă.

Sistemul SEP a confirmat experimental performanțele previzionate în etapele de proiectare și simulare a curgerii, demontându-și utilitatea practică și punctele forte.

Prin implementarea și utilizarea SEP s-au îmbunătățit performanțele globale de reținere a uleiului în sistemul închis de funcționare al compresorului cu șurub.

S-a constatat o cădere de presiune medie de sub 0,15 bar pe toate treptele de separare ale SEP, iar la depășirea debitului prelucrat cu aproximativ 50% față de debitul proiectat, s-a înregistrat o cădere de presiune de 1,89 bar. Acest parametru important de performanță atins de SEP, determină o eficiență energetică ridicată în condițiile de funcționare continuă, în mediu industrial.

Conținutul de ulei rezidual, la ieșirea din SEP s-a încadrat între 19 și 17 ppm, performanță care recomandă omologarea sistemului de separare și utilizarea lui ulterioară în aplicații industriale de comprimare aer sau gaze combustibile. Cuplând SEP cu un filtru final coalescent se pot atinge performanțe de separare a uleiului sub 5 ppm, asigurând condițiile unei funcționări de cel puțin 4000 h, fără a se înregistra cădere de presiune suplimentară și fără schimb de elemente filtrante coalescere.

Prin implementarea SEP s-a constatat o funcționare îmbunătățită a standului de testare compresoare cu șurub, mai ales în condițiile funcționării standului ca sursă de aer pentru diferite programe de cercetare-dezvoltare ale INCD Turbomotoare COMOTI.

Sistemul de separare va putea fi utilizat atât pentru vasele separatoare aflate deja în exploatare, îmbunătățind performanțele acestora și va putea fi aplicat de asemenea pentru vasele separatoare necesare în proiecte noi, acoperind o plajă largă de aplicații de comprimare.

CAPITOLUL 5. EFICIENTIZAREA ENERGETICĂ A INSTALAȚIILOR DE COMPRIMARE A GAZULUI UTILIZÂND ECHIPAMENTE VOLUMICE.

Cercetările experimentale prezentate în acest capitol au fost efectuate pe bancul de încercare COMOTI și relevă faptul că prin reducerea presiunii în conducta principală de refulare sub valoarea presiunii teoretice obținute prin comprimarea internă a compresorului, se vor înregistra și niveluri mai mici ale consumului de

energie. Acest comportament contrazice conceptele teoretice prezentate în anumite lucrări științifice despre conceptul de supracompresie în unitățile de compresoare cu șurub.

Pentru comprimarea aceluiași debit de gaz având în conducta de refulare o contrapresiune de 1,5 barg s-a constatat o reducere a consumului de energie de 33% în comparație cu comprimarea la 4,5 bar.

S-a concluzionat că reducerea consumului de energie are loc datorită pierderilor de gaz din camera de comprimare în conducta de refulare, din cauza diferențelor de presiune, aspect benefic pentru funcționarea de ansamblu.

În lucrarea [63] sunt prezentate aspecte despre funcționarea unui ansamblu de comprimare în echiparea căruia s-a introdus pompa principală de ulei. Prin montajul acestuia presiunea de refulare din compresor a putut fi menținută la valori între 2 și 2,5 bar, realizându-se o economie importantă prin reducerea privind consumul de energie. Autorii au estimat că prin montajul pompelor de ulei (una în serviciu permanent și una de rezerva) se obține o reducere semnificativă a consumului energetic, iar valoarea investiției (lucrarea de modernizare și reparație a skidului) ar putea fi recuperată integral în 2 ani funcționare continuă

CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE ȘI DIRECȚII DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ.

6.1. Concluzii generale.

Pentru prima dată, sub coordonarea autorului acestei teze, au fost efectuate cercetări aprofundate asupra compresoarelor cu șurub cu injecție de ulei, în scopul realizării unui grad mare de recuperare a uleiului. Sistemul SEP a confirmat experimental performanțele previzionate în etapa de proiectare și simulare a curgerii, demonstrându-și utilitatea practică și punctele forte.

Prin implementarea unor soluții originale ingineresti, s-au îmbunătățit performanțele globale de reținere a uleiului, reducându-se concentrația de ulei din gazul comprimat, la ieșirea din sistemul eficient de separare la sub 20 ppm, față de 160 ppm cât s-a înregistrat în cazul sistemului convențional.

S-a constatat funcționarea SEP cu o cădere de presiune medie de 0,15 bar, inclusiv la depășirea parametrilor funcționali propuși, aspect avantajos din punct de vedere al eficienței energetice.

Prin implementarea SEP s-a constatat o funcționare îmbunătățită a standului de testare compresoare cu șurub, mai ales în condițiile funcționării standului ca sursă de aer pentru diferite programe de cercetare-dezvoltare ale INCD Turbomotoare COMOTI.

Simulările numerice prezentate în această teză, iterativ pentru cele trei variante constructive ale SEP, au evidențiat rolul important pe care îl are CFD în proiectarea și optimizarea geometriei treptelor de separare. Optimizarea CENT ca urmare a studiului numeric CFD a permis reducerea costurilor de fabricație, montaj și experimentare.

Sistemul de separare dezvoltat va putea fi utilizat atât pentru vasele separatoare aflate deja în exploatare, îmbunătățind performanțele acestora și va putea

fi utilizat pentru vasele separatoare necesare în proiecte noi, acoperind o plajă largă de aplicații de comprimare.

Sistemul eficient de separare SEP a fost realizat în cadrul COMOTI sub coordonarea autorului și echipează în primă fază vasul separator DN800PN50 din componența standului de încercare compresoare cu șurub, facilitate care este parte integrantă a Secției Ansambluri compresoare cu șurub, compresoare și expandere cu șurub, din cadrul INCD Turbomotoare COMOTI.

Cercetările experimentale prezentate în Capitolul 5 au fost efectuate pe bancul de încercare COMOTI și relevă faptul că prin reducerea presiunii în conducta principală de refulare sub valoarea presiunii teoretice obținute prin comprimarea internă a compresorului, se vor înregistra și niveluri mai mici ale consumului de energie. Acest comportament contrazice conceptele teoretice prezentate în anumite lucrări științifice despre conceptul de supracompresie în unitățile de compresoare cu șurub. Compresorul cu șurub, cu raport de compresie fix, se dovedește a avea un domeniu de funcționare destul de larg în ceea ce privește presiunile de refulare.

Pentru comprimarea aceluiași debit de gaz având în conducta de refulare o contrapresiune de 1,5 barg s-a constatat o reducere a consumului de energie de 33% în comparație cu comprimarea la 4,5 bar.

S-a concluzionat că reducerea consumului de energie are loc datorită pierderilor de gaz din camera de comprimare în conducta de refulare, din cauza diferențelor de presiune, aspect benefic pentru funcționarea de ansamblu.

6.2. Contribuții personale.

Sub coordonarea autorului, inginer în cadrul INCD Turbomotoare COMOTI, a fost conceput, dezvoltat și experimentat un sistem de separare optimizat, cu performante reale îmbunătățite față de alte sisteme existente utilizate. Sistemul performant dezvoltat poate intra în echiparea aplicațiilor nou dezvoltate, dar mai ales poate înlocui sisteme montate anterior, cu performanțe reduse, care sunt deja puse în funcțiune.

Teza conține o serie de contribuții științifice și tehnice, prezentate detaliat în cele ce urmează:

1. În etapa de cercetare autorul a identificat problemele specifice care apar în cazul sistemelor de separare gaz comprimat-ulei: consum de ulei, contaminarea cu ulei a echipamentelor și sistemelor din aval, consum de putere crescut ca urmare a unei căderi de presiune mare în cadrul sistemului de separare, probleme specifice de operare și întreținere.
2. Autorul a definit configurația și metodologia de experimentare pentru determinarea performanțelor de separare ale unui sistem convențional existent, constituit din două trepte de demister tip tricot din sârmă de inox, utilizat în echiparea unui ansamblu de comprimare cu șurub, din dotarea COMOTI.
3. Pe baza rezultatelor obținute în urma experimentării, aplicând metoda gravimetrică de calcul, a fost determinat conținutul de ulei rezidual pentru un sistem convențional de separare. Stabilirea performanțelor de separare ale unui separator gaz-ulei este de asemenea o contribuție proprie a autorului.

4. A fost realizată în premieră la nivel național o experimentare pentru determinarea caracteristicilor picăturilor de ulei (dimensiune și forma viteza particulelor individuale), aflate în suspensie în gazul comprimat, prin utilizarea unui sistem optic de imagistică Particle Master Shadow Particle Shadow.
5. Utilizarea a trei trepte de separare, în combinația propusă, pentru echiparea unui vas separator vertical constituie un element de noutate față de soluțiile similare analizate. Separatorul centrifugal constituie în sine un element de noutate prin modul de concepție, care permite separarea celor două fluxuri ulei separat și amestec gaz comprimat-ulei, prin intermediul fantelor longitudinale și construcției tip cilindru în cilindru.
6. SEP, în varianta constructivă trei, a fost realizat și montat în cadrul unui vas separator vertical DN800, din echiparea standului de încercări unități de comprimare COMOTI, sub coordonarea autorului. Autorul a definit configurația și metodologia de experimentare pentru determinarea performanțelor de separare ale sistemului eficient de separare.
7. S-au găsit soluții ingineresti pentru rezolvarea unor probleme tehnice, care afectează funcționarea optimă a separatoarelor verticale - montajul unei conducte de drenaj pentru ulei din cotul de refulare, evitându-se acumularea de ulei, micșorarea secțiunii de curgere și generarea suplimentară de picături de ulei;
8. S-a realizat o eficientizare a funcționării instalației din dotarea standului de încercări unități de comprimare, prin îmbunătățirea soluției de separare existente, asigurând calitatea corespunzătoare a aerului comprimat necesar în diferite proiecte de cercetare-dezvoltare ale COMOTI;
9. Au fost prezentate rezultatele preocupărilor autorului în domeniul eficientizării energetice a unităților de comprimare care funcționează în regim de supracomprimare, cu aplicabilitate imediată în mediul industrial

6.3. Direcții de dezvoltare ulterioară.

Autorul, împreună cu colectivul de cercetare-dezvoltare "Ansambluri de comprimare cu șurub, compresoare și expandere cu șurub", din cadrul COMOTI, vor avea în vedere următoarele direcții posibile de dezvoltare ulterioară:

1. Testarea SEP în condiții de funcționare industrială într-o aplicație de comprimare gaze asociate cu țiteiul;
2. Adaptarea SEP pentru integrarea în vas de separare orizontal DN600. Vasele separatoare orizontale se pretează pentru ansamblurile de comprimare compacte, precum cele montate în containere, pentru diferite aplicații industriale.
3. Execuția unui vas separator gaz-ulei vertical nou, DN800 PN16, în construcția căruia să fie implementate elementele de noutate și îmbunătățire care au reieșit în urma acestui studiu doctoral.

4. Continuarea experimentelor pentru determinarea distribuției picăturilor de ulei la ieșirea din compresorul cu șurub.
5. Dezvoltarea unor vase separatoare gaz metan - lichid (gaz-apă sau gaz-gazolină) care pot fi montate pe conductele de alimentare, pentru condiționarea gazului înainte de livrarea la consumatorul final.
6. Continuarea experimentelor privind consumul energetic al compresorului cu șurub la funcționarea în regim de subcomprimare, prin monitorizarea presiunii în ultimul volum al camerei de compresie.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE.

I.Lucrări publicate în jurnale cotate ISI.

1. **Tomescu S.**, Ion M., Contiu R., Voicu S., "Experimental validation of the numerical model for oil-gas separation", Eng. Technol. Appl. Sci. Res., XX(X), pp. 1–8. (factor de impact 1.5) (lucrare acceptata, în curs de publicare)
2. Nechifor C., Năvrănescu V., **Tomescu S.**, Săvescu, C., Roman M., Conțiu R., Stoicescu A., "Optimizing The Electronic Control of Suction Valves For Gas Compression Units", Revue Roumaine Des Sciences Techniques-Série Électrotechnique Et Énergétique, Volume 68, Issus 2, Pages: 182-187, (Jun. 2023), **WOS:001026628400011**, [DOI:10.59277/RRST-EE.2023.68.2.11](https://doi.org/10.59277/RRST-EE.2023.68.2.11), (factor de impact 0,7)

II.Lucrări publicate în jurnale indexate WOS sau IEEE Explore.

1. **Tomescu S.**, Bucur I.O., "Numerical Investigation of Oil Gas Separation with the Use of VOF CFD", Engineering Technology & Applied science Research, Volume, no. 6, Pages: 7841-7845, (Dec. 2021). **WOS:000731398100016**, [DOI:10.48084/etasr.4446](https://doi.org/10.48084/etasr.4446)
2. Petrescu V., **Tomescu S.**, Vasile E., Teodor S., Slujitoru C., "The Influence of Clearances on Energy Efficiency in Screw Compressors", 11th International Conference on Energy and Environment (CIEM 2023), Bucharest, 26-27 October 2023, lucrare acceptată
3. Petrescu V., Săvescu C., Stănescu T., Nechifor C., Vasile M., **Tomescu S.** „Experimental analyses of twin-screw compressors’ energetic efficiency depending on the volume ratio”, 11th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2023), **IEEE Explore** [Preprint].
4. **Tomescu S.**, Petrescu V., Serban A., Voicu S., "Energy Efficiency of an Oil Injected Screw Compressor Operating at Various Discharge Pressures," 10th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM), **IEEE Explore**, 2021, pp. 1–5., [DOI:10.1109/CIEM52821.2021.9614754](https://doi.org/10.1109/CIEM52821.2021.9614754)
5. Vlăducă, I., Stanciuc, R., Bimbașa, R. and **Tomescu, S.** "Waste-Energy (Heat) Recovery System from the Gases Compressed by an Oil-Free Screw Compressor,"

E3S Web of Conferences, vol. 112, p. 01012, Aug. 2019. **WOS:000619989000012**,
[DOI:10.1051/e3sconf/201911201012](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911201012)

III.Lucrări publicate în jurnale indexate BDI.

1. Serban A., Tomescu S., Vlăducă I., Voicu S., “Energy improvement of an oil injected screw compressor skid”, *EMERG - Energy. Environment. Efficiency. Resources. Globalization*, vol. 7, no.1, pp. 51–59, 2021, [DOI:10.37410/EMERG.2021.1.04](https://doi.org/10.37410/EMERG.2021.1.04), ISSN 2668-7003, ISSN-L 2457-5011
2. **Tomescu S.**, Enache M., Visan N., Florean F., “Experimental Measurements Using Shadowgraph System On The Screw Compressor”, *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, vol. 84, no. 1, 2022, [ISSN 1454-2358](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2022.01.001)
3. Petrescu, V., Vasile E., Serban, A, **Tomescu, S.**, “Energy Efficiency of Screw Compressor”, *EMERG: Energy. Environment. Efficiency. Resources. Globalization*, Volume IX, Issue 2, Pages: 27-36, (2023), [DOI: 10.37410/EMERG.2023.2.02](https://doi.org/10.37410/EMERG.2023.2.02)
4. Nitulescu M., Slujitoru C., Petrescu V., Silivestru V., Fetea G., **Tomescu S.**, “Reducing rotors clearance-a way to increase the performance of a screw compressor”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 1180, No. 1, p. 012007, [DOI:10.1088/1757-899X/1180/1/012007](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1180/1/012007)
5. Nitulescu M., Silivestru V., Toma N., Slujitoru C., Petrescu V., Șerban A., **Tomescu S.**, “Multifunctional stand for testing screw compressors in closed loop test configuration”, *EMERG - Energy Environment Efficiency Resources Globalization*. 2022;8(2):56–67, [ISSN 2668-7003, ISSN-L 2457-5011](https://doi.org/10.37410/EMERG.2022.8.2.02)
6. Vlăducă, I., **S. Tomescu**, M. D. Ionescu, R. Nedelcu, S. Popescu, and I. Ilie, “Research activity in air and other gases compression and energy storage,” *EMERG - Energy. Environment. Efficiency. Resources. Globalization*, vol. 7, no. 1, pp. 40–50, 2021, [DOI:10.37410/EMERG.2021.1.03](https://doi.org/10.37410/EMERG.2021.1.03).

IV.Articole în domenii conexe tezei de doctorat.

1. Buzescu D. M., **Tomescu S. G.**, “Failure Analysis Of A High-Speed Offset Bearing”, *Transportation Research Procedia*, Volume 29, Pages: 34-45, (2018). **WOS:000454701600004**, DOI:10.1016/j.trpro.2018.02.004

V. Publicații sub formă de Capitole în Cărți.

1. Barbu, E., R. Petcu, V. Vilag, V. Silivestru, T. Prisecaru, J. Popescu, C. Cuciumita, **Tomescu, S.**, “Gas Turbine Cogeneration Groups Flexibility to Classical and Alternative Gaseous Fuels Combustion,” *Progress in Gas Turbine Performance*, InTech, 2013. [DOI:10.5772/54404](https://doi.org/10.5772/54404).

VI.Brevete și cereri de brevete.

1. Cerere de brevet a202300103/ 2023: Sistem automat de determinare, confirmare și reglare continuă a poziției unghiulare pentru o vana antrenată de o acționare electrică, Autori: Silivestru V., **Tomescu S.**, Contiu R., Nechifor C., Rosca E., Voicu S.
2. Cerere de brevet A002100186: Stand de încercări acționări electrice în domeniul 50-500 Nm, Autori: Silivestru V., **Tomescu S.**, Ciobanu R., Nechifor C., Petrescu V., Ungureanu A., Vasile E., Taranu A., Ionescu A.

VII. Comunicări științifice.

1. Energy Efficiency of an Oil Injected Screw Compressor Operating at Various Discharge Pressures
Autori: **Tomescu S.**, 10th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT 2021 (CIEM), 14-15 October 2021, Bucharest, Romania
2. Multifunctional stand for testing screw compressors in closed loop configuration
Autor: **Tomescu S.** 11th International Conference on Compressors and their Systems, City, University of London 2019, 9th – 11th September 2019, London, United Kingdom

VIII. Premii și alte distincții.

1. Premiul AGIR pentru anul 2021 - „Soluții de stocare a energiei în sisteme CAES pentru echilibrarea balanței energetice din România ca urmare a creșterii ponderii producerii energiei electrice din surse regenerabile”, Ionescu M.D., Silivestru V., **Tomescu S.**, Toma N., Vladucă I., Săvescu A., Ungureanu A., Petrescu V., Șerban A.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.

- [1] Brown, R. N., *Compressors selection and sizing*. Gulf Professional Publishing, 1997.
- [2] Brunazzi, E. and A. Paglianti, "Design of complex wire-mesh mist eliminators," *AIChE Journal*, vol. 46, no. 6, pp. 1131–1137, 2000, doi: 10.1002/aic.690460605.
- [3] Brunazzi, E. and A. Paglianti, "Conventional and complex knitted mesh mist eliminators," *Chem Eng Technol*, vol. 24, no. 11, pp. 1199–1204, 2001, doi: 10.1002/1521-4125(200111)24:11<1199::AID-CEAT1199>3.0.CO;2-O.
- [4] Chandranegara, A., "Review : Improving Mist Eliminator Performance in Gas-Liquid Separators," no. July, 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.3342.4885.
- [5] COMOTI, "Memoriu Tehnic: 'RECONFIGURARE SISTEM DE CONDITIONARE' - Documentație internă INCDT COMOTI."
- [6] COMOTI, "Memoriu Tehnic: 'INTEGRARE SISTEM DE CONDITIONARE. ETAPA 1' - Documentație internă INCDT COMOTI."
- [7] COMOTI, "Memoriu Tehnic: 'INTEGRARE SISTEM DE CONDITIONARE. ETAPA 2' - Documentație internă INCDT COMOTI," PROIECT: PN 09-07.08.02 Faza 21, 2015.
- [8] COMOTI, "Memoriu Tehnic: "Modernizare compresor ECS 20/10 (CF180GK) și transformare in ECS 30/10. Stația de comprimare Tasbuga."- Documentație interna INCDT COMOTI," 2019.
- [9] Dragan, V., I. Malael, and B. Gherman, "A Comparative Analysis Between Optimized and Baseline High Pressure Compressor Stages Using Tridimensional Computational Fluid Dynamics," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 6, no. 4, pp. 1103–1108, 2016, doi: 10.48084/etasr.696.
- [10] El-Dessouky, H. T., I. M. Alatiqi, H. M. Ettouney, and N. S. Al-Deffeeri, "Performance of wire mesh mist eliminator," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 39, no. 2, pp. 129–139, Mar. 2000, doi: 10.1016/S0255-2701(99)00033-1.
- [11] Laleh, A. P., W. Y. Svrcek, and W. D. Monnery, "Design and CFD studies of multiphase separators-a review," *Can J Chem Eng*, vol. 90, no. 6, pp. 1547–1561, Dec. 2012, doi: 10.1002/cjce.20665.
- [12] Nitulescu, M., V. Silivestru, N. Toma, C. Slujitoru, V. Petrescu, M. Leahu, C. Oniga, *et al.*, "New projects developed by COMOTI in gas industry," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 90, no. 1, 2015, doi: 10.1088/1757-899X/90/1/012015.
- [13] Nitulescu, M., V. Silivestru, N. Toma, C. Slujitoru, V. Petrescu, A. Șerban, and S. Tomescu, "Multifunctional stand for testing screw compressors in closed loop test configuration," *EMERG - Energy. Environment. Efficiency. Resources. Globalization*, vol. 8, no. 2, pp. 56–67, 2022, doi: 10.37410/EMERG.2022.2.05.
- [14] Nitulescu, M., C. Slujitoru, and V. Petrescu, "Case Study regarding the test of the new screw compressor with high delivery pressure - 45 bara - on the test bench (with air)," vol. 4, no. 4, pp. 151–159, 2012, doi: 10.13111/2066-8201.2012.4.4.14.
- [15] O'Neill, P. A., *Industrial compressors : theory and equipment*. Butterworth Heinemann, 1993.
- [16] De Schepper, S. C. K., G. J. Heynderickx, and G. B. Marin, "CFD modeling of all gas-liquid and vapor-liquid flow regimes predicted by the Baker

- chart,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 138, no. 1–3, pp. 349–357, 2008, doi: 10.1016/j.cej.2007.06.007.
- [17] Silivestru, V., M. D. Ionescu, and P. Despa, “Instalații complexe pentru comprimarea gazului natural produse de COMOTI,” *Market Watch Nr 152*, 2013.
- [18] Stosic, N., “MATHEMATICAL MODELLING IN COMPUTER AIDED DESIGN OF SCREW COMPRESSORS,” 2001.
- [19] Stošic, N., L. Milutinović, K. Hanjalić, and A. Kovačević, “Investigation of the influence of oil injection upon the screw compressor working process,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 15, no. 4, pp. 206–220, 1992, doi: 10.1016/0140-7007(92)90051-U.
- [20] Stosic, N., I. K. Smith, A. Kovacevic, and E. Mujic, “Geometry of screw compressor rotors and their tools,” *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, vol. 12, no. 4, pp. 310–326, 2011, doi: 10.1631/jzus.A1000393.
- [21] Tomescu, S. and I. O. Bucur, “Numerical Investigation of Oil Gas Separation with the Use of VOF CFD,” *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 11, no. 6, pp. 7841–7845, 2021, doi: 10.48084/etasr.4446.
- [22] Tomescu, S., M. Enache, N. Visan, and F. Florean, “EXPERIMENTAL MEASUREMENTS USING SHADOWGRAPH SYSTEM ON THE SCREW COMPRESSOR,” *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, vol. 84, no. 1, 2022.
- [23] “www.en.wikipedia.org/wiki/Bellows.”
- [24] “www.comoti.ro.”
- [25] “LaVision GmbH, “Product - Manual for ParticleMaster Shadow”, Item-Number(s): 1105032, Anna – Vandenhoeck - Ring 19, D-37081 Göttingen, 2009.”