

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

REZUMAT TEZĂ

CERCETĂRI PRIVIND IMPLEMENTAREA UNOR TEHNOLOGII MODERNE ÎN TRATAREA APELOR POLUATE CU HIDROCARBURI

Autor: ing. CÎRJAN C. Dan Ovidiu

Conducător științific:

prof.univ.habil.dr.ing. STOICESCU Maria

Ploiești 2025

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

REZUMAT TEZĂ

CERCETĂRI PRIVIND IMPLEMENTAREA UNOR TEHNOLOGII MODERNE ÎN TRATAREA APELOR POLUATE CU HIDROCARBURI

RESEARCH ON THE IMPLEMENTATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN THE TREATMENT OF WATER POLLUTED WITH HYDROCARBONS

Autor: ing. CÎRJAN C. Dan Ovidiu

Conducător științific: prof.univ.habil.dr.ing. STOICESCU Maria

Nr. Decizie 961 din 18.12.2025

Comisia de doctorat:

Președinte	Prof.univ.habil.dr.ing. Cristian EPARU	de la	Universitatea UPG Ploiești
Conducător științific	Prof.univ.habil.dr.ing. Maria STOICESCU	de la	Universitatea UPG Ploiești
Referent oficial	Prof.univ.habil.dr.ing. Valentin PETRESCU	de la	Universitatea Lucian Blaga Sibiu
Referent oficial	Cerc.științ.gr.II.dr.chim Maria HAIDUCU	de la	INCDPM Alexandru Darabont București
Referent oficial	Prof.univ.habil.dr.ing. Timur-Vasile CHIȘ	de la	Universitatea UPG Ploiești

Ploiești 2025

INTRODUCERE

Poluarea apelor cu produse petroliere reprezintă o problemă majoră de mediu la nivel global, cauzând efecte negative semnificative asupra ecosistemelor acvatice și asupra sănătății umane. În contextul actual al crizei energetice și al necesității de a găsi surse alternative de energie, recuperarea și valorificarea produselor petroliere din apele poluate devine o soluție atractivă atât din punct de vedere ecologic, cât și economic.

Prezenta teză de doctorat propune o abordare integrată pentru tratarea apelor poluate cu produse petroliere și valorificarea energetică a deșeurilor rezultate, combinând tehnologii inovative precum nanobulele, separarea magnetică, ultrasunetele și piroliza-gazeificarea într-un sistem unitar, eficient și sustenabil.

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

Poluarea apelor cu produse petroliere - efecte și provocări

Produsele petroliere care contaminează apele includ țiței, fracțiuni petroliere, combustibili rafinați, uleiuri și reziduuri de la prelucrarea petrolului. Efectele acestora asupra ecosistemelor acvatice sunt complexe și de lungă durată:

- Formarea de pelicule la suprafața apei care reduc schimbul de oxigen și pătrunderea luminii
- Toxicitate directă pentru organismele acvatice
- Bioacumulare în lanțurile trofice
- Modificări ale structurii și funcționării ecosistemelor

Apa poluată cu produse petroliere are caracteristici distincte, incluzând transparență redusă, turbiditate crescută, modificări ale conductivității electrice și ale parametrilor chimici, precum și prezența diverselor tipuri de hidrocarburi în concentrații variabile.

Tehnologii actuale de tratare

Metodele convenționale de tratare a apelor poluate cu produse petroliere includ:

- Separarea mecanică (separatoare API, separatoare cu plăci, centrifugare)
- Flotația (DAF, IAF)

- Absorbția/adsorbția (materiale absorbante organice sau sintetice)
- Tratamente biologice
- Oxidare chimică (ozonare, clorinare)

Aceste metode prezintă însă limitări semnificative: eficiență redusă pentru emulsii stabile, consum ridicat de energie și reactivi chimici, generare de deșeuri secundare greu de gestionat, și costuri operaționale ridicate.

Tehnologia nanobulelor - o abordare inovativă

Nanobulele, definite ca incluziuni gazoase într-un lichid cu dimensiuni sub 1 μm (tipic 10-500 nm), prezintă proprietăți fizico-chimice unice:

- Stabilitate remarcabilă în suspensie (persistă ore sau zile)
- Suprafață specifică extrem de mare (10^6 - 10^7 m^2/m^3)
- Încărcare electrică superficială negativă
- Presiune internă ridicată
- Generare de radicali liberi la interfața gaz-lichid

Aceste proprietăți fac nanobulele deosebit de eficiente în procese de separare, oxidare și tratare a apelor poluate, oferind avantaje semnificative față de metodele convenționale.

OBIECTIVELE CERCETĂRII

Obiectivul principal al tezei constă în dezvoltarea unui sistem integrat, inovativ și eficient pentru tratarea apelor poluate cu produse petroliere și valorificarea energetică a deșeurilor rezultate.

Obiectivele specifice includ:

1. Dezvoltarea și optimizarea unor metode eficiente de separare a produselor petroliere din ape poluate
2. Studiarea și modelarea comportamentului nanobulelor în procesele de tratare a apelor contaminate
3. Proiectarea și optimizarea unui sistem de piroliză-gazeificare pentru valorificarea energetică a produselor petroliere recuperate
4. Integrarea tehnologiilor într-un sistem unitar, cu autosuficiență energetică

5. Modelarea matematică și simularea computerizată a proceselor pentru optimizarea parametrilor operaționali
6. Evaluarea eficienței economice și a impactului asupra mediului a sistemului propus

CONTRIBUȚII ORIGINALE

1. Dezvoltarea sistemelor de colectare și separare a produselor petroliere

A fost conceput un dispozitiv inovativ de tip "platane" pentru colectarea, separarea și concentrarea produselor petroliere de la suprafața apei. Acesta este o structură flotantă cu componente specifice:

- "Gura" de admisie situată la 1-3 mm sub suprafața lichidului
- Conuri suprapuse dispuse vertical pentru separarea gravitațională
- Sistem de pompare cu elice cu turație scăzută
- Compartiment de colectare și mecanism de evacuare

Dispozitivul demonstrează o eficiență de separare de peste 95% și o rată de recuperare a produselor petroliere de 88-92%, semnificativ superioară sistemelor convenționale (60-75%).

Pentru curățarea concentratului petrolier a fost dezvoltat un tratament hibrid care combină:

- Expunerea la câmp magnetic intens
- Încălzire controlată
- Tratament ultrasonic (20-40 kHz)

Acest proces asigură o concentrație finală de 98-99% produs petrolier, eliminând eficient apa reziduală și contaminanții solizi.

2. Aplicarea nanobulelor în tratarea apelor poluate

Au fost studiate și optimizate aplicațiile nanobulelor pentru diverse tipuri de ape poluate:

a) Pentru râuri și lacuri poluate cu produse petroliere:

- Nanobulele de ozon și oxigen asigură oxidarea eficientă a hidrocarburilor
- Eficiență de îndepărtare de 80-98% pentru diverse tipuri de hidrocarburi
- Reducerea consumului de reactivi chimici cu 60-80%

b) Pentru apa dură și încărcată cu compuși de fier și mangan:

- Nanobulele de CO₂ ajustează pH-ul și inițiază precipitarea metalelor
- Nanobulele de oxigen oxidează eficient Fe(II) la Fe(III) și Mn(II) la Mn(IV)
- Reducerea durității cu 60-65% și îndepărtarea a peste 95% din fier și 90% din mangan

c) Pentru apele uzate municipale:

- Oxidarea avansată cu nanobule de ozon reduce CCO cu 75-80%
- Tratatamentul biologic îmbunătățit cu nanobule de oxigen accelerează degradarea biologică
- Reducerea timpului de tratare cu 40-50%

d) Pentru levigatul din depozitele de deșeuri:

- Combinarea nanobulelor, separării magnetice și ultrasunetelor
- Îndepărtarea a 90-95% din CCO și reducea turbidității cu 95%
- Eliminarea eficientă a metalelor grele (Pb 98%, Cd 96%, Cu 97%)

e) Pentru apele de mină:

- Flotația îmbunătățită cu nanobule recuperează 93-99% din metalele valoroase
- Oxidarea eficientă a fierului și manganului dizolvat
- Precipitarea controlată a metalelor pentru recuperare ulterioară

3. Dezvoltarea sistemului de piroliză-gazeificare și valorificare energetică

A fost conceput un sistem inovativ de piroliză-gazeificare în două trepte pentru tratarea produselor petroliere recuperate:

- Prima etapă: Piroliza produsului petrolier la 550°C în atmosferă de CO₂ recuperat
- A doua etapă: Gazeificarea la 1100-1200°C utilizând oxigen în loc de aer
- Catalizator optimizat pentru maximizarea producției de hidrogen și eliminare poluanți din gazul de sinteză

Inovațiile principale includ:

- Utilizarea oxigenului în loc de aer, obținând temperaturi mai ridicate (1100-1200°C vs 850°C) și eficiență mai mare (92% vs 85%)
- Recircularea CO₂ de la motorul de cogenerare, care stabilizează temperatura și îmbunătățește eficiența (95% vs 90%)
- Sistem integrat de recuperare a energiei termice din toate procesele

Gazul de sinteză produs are următoarea compoziție aproximativă:

- Hidrogen (H₂): 45%
- Monoxid de carbon (CO): 35%
- Dioxid de carbon (CO₂): 5%
- Metan (CH₄): 15%

Puterea calorică este de 12-14 MJ/Nm³, considerabil mai mare decât în sistemele convenționale.

Pentru valorificarea energetică a fost dezvoltat un sistem de cogenerare adaptat pentru utilizarea gazului de sinteză, cu o eficiență electrică de 34-38% și eficiență globală (electrică + termică) de 70-75%.

4. Modelarea matematică și simularea computerizată

Au fost dezvoltate modele matematice complexe pentru simularea și optimizarea proceselor implicate:

a) Modelul nanobulelor și comportamentului lor:

- Ecuații pentru formarea și stabilitatea nanobulelor
- Modelarea transferului de masă gaz-lichid
- Cinetica degradării poluanților organici

b) Modelul proceselor de piroliză-gazeificare:

- Cinetica reacțiilor de descompunere termică
- Echilibre termodinamice ale reacțiilor de gazeificare
- Optimizarea compoziției gazului de sinteză

c) Modelul energetic al sistemului integrat:

- Bilanțuri de masă și energie
- Eficiența de conversie și recuperare termică
- Optimizarea parametrilor operaționali

Simulările computer au demonstrat că sistemul integrat poate atinge autosuficiență energetică pentru concentrații de poluanți peste 200 mg/l și poate genera surplus energetic pentru concentrații peste 500 mg/l.

5. Validarea experimentală și optimizarea

Modelele dezvoltate au fost validate prin comparație cu rezultatele experimentale, demonstrând o corelație foarte bună (R^2 între 0,93 și 0,97). Optimizarea multi-obiectiv a sistemului a permis identificarea configurațiilor optime, cu recomandări specifice pentru diferite scenarii de aplicare:

a) Configurația I (prioritate pentru eficiența de tratare):

- Concentrație nanobule O_2 : $9,5 \times 10^8$ bule/ml
- Concentrație nanobule O_3 : $4,5 \times 10^8$ bule/ml
- Temperatura gazeificare: $1200^\circ C$
- Eficiență tratare: 99,7%
- Cost operațional: 1,1 EUR/m³

b) Configurația II (prioritate pentru eficiența energetică):

- Concentrații moderate de nanobule
- Temperatura gazeificare: $1150^\circ C$
- Eficiență tratare: 98,3%
- Eficiență energetică: 70,3%
- Cost operațional: 0,95 EUR/m³

c) Configurația III (prioritate pentru cost operațional redus):

- Concentrații mai reduse de nanobule
- Parametri moderați pentru toate procesele
- Eficiență tratare: 96,5%

- Cost operațional: 0,78 EUR/m³

APLICABILITATEA REZULTATELOR ÎN INDUSTRIE

Sistemul integrat dezvoltat prezintă un potențial semnificativ de implementare industrială în multiple sectoare:

1. Industria petrolieră și petrochimică

- Tratarea apelor de producție din extracția petrolieră
- Tratarea apelor reziduale din rafinării
- Remedierea solurilor și apelor subterane contaminate

Analiza economică indică o perioadă de recuperare a investiției de 2,5-3,5 ani și o rată internă de rentabilitate (IRR) de 25-30%.

2. Managementul apelor uzate

- Modernizarea stațiilor de epurare urbane și industriale
- Tratarea levigatului din depozitele de deșeuri
- Tratarea apelor uzate din industria alimentară și textilă

Implementarea sistemului poate genera economii operaționale anuale de 0,1-0,15 EUR/m³ de apă tratată.

3. Intervenții de urgență și remedierea mediului

Intervenții rapide în cazul deversărilor accidentale

Remedierea zonelor contaminate istoric

Tratarea apelor de santină și a deșeurilor navale

Evaluarea economică indică o reducere a costurilor de intervenție și remediere cu 25-35% comparativ cu metodele convenționale.

CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE

Cercetarea realizată a condus la dezvoltarea unui sistem integrat inovativ pentru tratarea apelor poluate cu produse petroliere și valorificarea deșeurilor rezultate, cu avantaje semnificative față de tehnologiile convenționale:

1. Eficiență ridicată de tratare (>99% îndepărtare a produselor petroliere)
2. Autosuficiență energetică prin valorificarea deșeurilor recuperate
3. Reducerea consumului de reactivi chimici cu 70-80%
4. Diminuarea impactului asupra mediului (emisii CO₂ reduse cu 30-40%)
5. Costuri operaționale reduse cu 30-40%
6. Modularitate și adaptabilitate pentru diverse aplicații
7. Conformitate UE deplină

Contribuții științifice:

- 15 modele matematice originale
- 5 tehnologii în curs de brevetare
- 4 articole științifice ISI publicate
- 2 conferințe

Ipotezele de cercetare au fost validate:

- Ipoteza 1: Nanobulele îmbunătățesc transferul de masă cu 100-300% față de tehnologiile clasice
- Ipoteza 2: Integrarea tehnologiilor produce sinergii de 15-25% față de tehnologiile simple
- Ipoteza 3: Autosuficiența energetică a sistemelor de tratare propuse se obține de la concentrații de săruri >197mg/l demonstrată
- Ipoteza 4: Viabilitate economică a procedeelor expuse cu IRR>20% confirmată

Perspectivile de cercetare viitoare includ:

- Extinderea aplicabilității sistemului pentru alte tipuri de poluanți
- Aprofundarea studiului mecanismelor fundamentale ale nanobulelor
- Intensificarea proceselor de gazeificare
- Dezvoltarea sistemelor de cogenerare avansate

- Miniaturizarea și portabilizarea sistemului
- Integrarea tehnologiilor digitale avansate

Sistemul dezvoltat reprezintă o soluție promițătoare pentru provocările actuale legate de poluarea apelor cu produse petroliere, oferind simultan beneficii de mediu și economice semnificative.

Lucrarea aduce contribuții originale importante în domeniul tratării apelor contaminate și al valorificării energetice a deșeurilor, propunând o abordare integrată care poate revoluționa practicile actuale din industrie. Modelele matematice dezvoltate și simulările computerizate oferă instrumente valoroase pentru optimizarea și implementarea practică a sistemului în diverse contexte industriale și de protecție a mediului.