OFFSHORE DRILLING: A SCIENTIFIC APPROACH TO DEEPWATER DRILLING

Prof. asoc. dr. ing. dipl. Valentin-Paul TUDORACHE [1]

[1] Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești; CONPET S.A.-Ploiești, România

REZUMAT. Forajul offshore, în special forajul în ape adânci, este o ramură complexă și vitală a industriei petrolului și gazelor, implicând o abordare științifică riguroasă pentru a depăși provocările unice ale mediului marin. În prezent, forajul offshore în ape adânci este un domeniu vast și în continuă evoluție, în care inovația tehnologică este esențială pentru a depăși limitele de mediu..

Cuvinte cheie: petrol, gaze, ape adânci, tehnologie, mediu, siguranță.

ABSTRACT. Offshore drilling, especially deepwater drilling, is a complex and vital branch of the oil and gas industry, involving a rigorous scientific approach to overcome the unique challenges of the marine environment. Deepwater offshore drilling is a vast and ever-evolving field, where technological innovation is essential to overcome environmental limits.

Keywords: oil, gas, deepwater, technology, environment, safety.

1. INTRODUCERE

În contextul forajului offshore[1], conform definițiilor din industria petrolieră (ex.: *Mineral Management Service - MMS, SUA*), diferențierea adâncimilor apei este crucială datorită provocărilor tehnologice și costurilor asociate (*v. Fig.1*). O clasificare acceptată este următoarea:

a) *Apă cu adâncime mare* (***Deepwater***): această categorie se referă, în general, la adâncimi ale apei care depășesc 305 m = 1.000,654 ft[2] (picioare, SUA). Unele definiții menționează peste 400 m. Forajul la aceste adâncimi necesită echipamente și tehnologii specializate, spre deosebire de forajul în ape puțin adânci.

b) *Apă cu adâncime ultra-mare* (***Ultra-Deepwater***): Aceasta reprezintă o subcategorie a "*apei mari*" și se referă la adâncimi ale apei care depășesc 1.500 m ~ 5.000 ft. Tehnologia de foraj pentru aceste adâncimi sunt, în majoritate, nave de foraj cu poziționare dinamică sau semisubmersibile.

c) *Apă cu adâncime Extremă* (***Extreme-Deep-water***): Această categorie se referă la adâncimi și mai mari decât ultra-adâncimea, adesea depășind 3.000 m ~ 10.000 ft sau chiar mai mult. Operațiunile de foraj la aceste adâncimi implică condiții de mediu extrem de severe (presiuni enorme, temperaturi scăzute) și, de asemenea, necesită tehnologii de ultimă generație și măsuri de siguranță excepționale.

Este important de reținut faptul că, aceste praguri pot varia ușor în funcție de contextul specific, dar tendința organizațiilor este de a clasifica operațiunile de foraj offshore, atât pe baza complexității tehnologice, cât și a riscurilor asociate cu adâncimea apei.

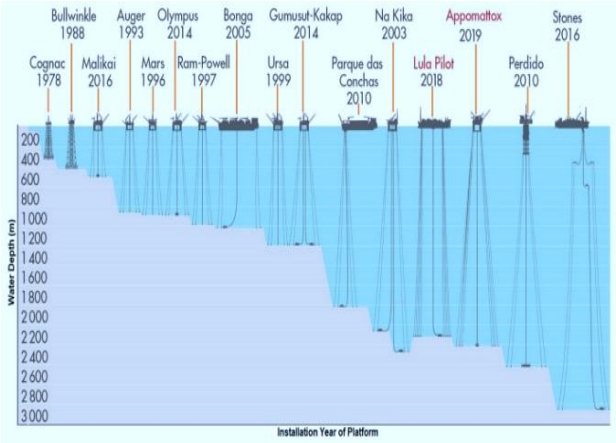


Fig. 1. Platforme de foraj offshore .

În principal, echipamentul pentru forajul offshore se compune din: platforma de foraj, instalația de foraj, puntea pentru elicopter, sistemele speciale de

[1] *Offshore -în conformitate cu Legea nr. 256 din 12.11.2018, Cap. 1, Art. 2, (1). lit.g- înseamnă situat în apele maritime interioare, marea teritorială, în zona contiguă și în zona economică exclusivă sau pe platoul continental al Mării Negre, în sensul dispozițiilor Convenției Națiunilor Unite asupra dreptului mării, încheiată la Montego Bay (Jamaica) la 10 decembrie 1982, ratificată prin Legea nr. 110/1996;*

[2] *1 ft ~ 0,305 m*

detectare și combatere a incendiilor, sistemul marin de amenajare a gurii sondei, dispozitivele auxiliare.

2. PROVOCĂRILE ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNOLOGICE ALE FORAJULUI OFFSHORE

În general, provocările științifice și tehnologice ale forajului offshore sunt:

1) *Presiunea și temperatura*: La adâncimi mari, presiunea hidrostatică este imensă, iar temperaturile pot fi extrem de scăzute. Aceste două condiții extreme de importante influențează direct, atât proprietățile fluidelor de foraj, cât și integritatea echipamentelor, respectiv stabilitatea sondei forate.
2) *Curenții marini*: Acești curenții puternici pot exercita forțe semnificative asupra coloanelor de foraj (*riser systems*) și, evident, pot afecta stabilitatea platformelor. Proiectarea și operarea riser-elor necesită o cunoaștere profundă a dinamicii fluidelor și a rezistenței materialelor.
3) *Stabilitatea formațiunilor geologice*: Forajul în ape adânci implică traversarea unor formațiuni geologice complexe, cu presiuni de pori și gradienți de fracturare care pot fi foarte apropiați. Acest lucru face controlul sondei extrem de dificil și necesită o monitorizare continuă și, mai mult, tehnici avansate de foraj.
4) *Materiale și echipamente*: Sunt necesare materiale și echipamente speciale, rezistente la coroziune, la presiuni și temperaturi extreme. Platformele pentru forajul offshore -*semisubmersibile, vapoare de foraj*- sunt concepute pentru a asigura stabilitatea și capacitatea de poziționare dinamică în medii ostile.
5) *Logistica și operațiunile*: Operațiunile de foraj în ape adânci sunt costisitoare și complexe, necesitând o planificare detaliată, o coordonare strictă și sisteme de siguranță avansate.
6) *Impactul asupra mediului*: Datorită riscurilor asociate (*ex.: scurgeri de țiței, poluarea apei și a aerului, v. Fig. 2*), se impun reglementări stricte de mediu și tehnologii avansate pentru prevenirea și gestionarea potențialelor incidente.

Scurgerile de țiței de la accidentul de pe platforma petrolieră Deepwater Horizon, unul dintre cele mai mari dezastre ecologice din istorie, a avut un impact major asupra diferitelor aspecte ale mediului, economiei și sănătății publice.

Sursa: google.com

Fig. 2. Accidentul de pe platforma petrolieră Deepwater Horizon.

Scurgerile de țiței de la accidentul de pe platforma petrolieră Deepwater Horizon, unul dintre cele mai mari dezastre ecologice din istorie, a avut un impact major asupra diferitelor aspecte ale mediului, economiei și sănătății publice.

În ceea ce privește impactul asupra mediului -*viața marină, habitatele, ecosistemele*- țițeiul a contaminat apa, plajele și mlaștinile, afectând o gamă largă de specii, inclusiv pești, păsări, broaște țestoase, delfini și mamifere marine. Mai mult, pierderea habitatului și perturbarea proceselor ecologice au amenințat viabilitatea pe termen lung a multor populații și ecosisteme marine.

În ceea ce privește impactul economic -*turism, valorile proprietăților, industria pescuitului*- scurgerea de țiței a dat o lovitură grea proprietarilor de locuințe, industriei turismului și pescuitului din Golful Mexic (au înregistrat o scădere bruscă a veniturilor, ceea ce a dus la disponibilizări, falimente și dificultăți economice pentru locuitorii din zonă).

În ceea ce privește impactul asupra sănătății publice, bilanțul psihologic al dezastrului a fost semnificativ, multe persoane confruntându-se cu anxietate, depresie, traume, probleme respiratorii, iritații ale pielii, tulburări neurologice și un risc crescut de cancer.

3. ASPECTE TEHNOLOGICE

Ca aspecte tehnologice cheie se pot evidenția următoarele:

1) *Sisteme de poziționare dinamică*: Platformele marine[3] și vapoarele de foraj (*v. Fig.3.* a, b și c) sunt echipate cu sisteme

[3] *Platforme marine mobile: autoridicătoare (autoelevatoare); semisubmersibile; submersibile.*

avansate care le permit să își mențină poziția cu precizie, chiar și în condiții meteorologice dificile.

2) *Coloane de foraj flexibile (risers)*: Tehnologia riser-elor flexibile (*v. Fig.4*) ajută la depășirea provocărilor legate de gradientul de fracturare și presiunea porilor, fiind mai ușoare și mai adaptabile la adâncimi mari.
3) *Forajul direcțional și multilateral*: Aceste tehnici permit accesarea unor zăcăminte mai extinse dintr-o singură sondă, reducând numărul de platforme necesare și impactul asupra mediului (*v. Fig.5*).
4) *Digitalizarea și automatizarea*: Tehnologiile digitale joacă un rol crucial în optimizarea forajului, monitorizarea datelor în timp real și îmbunătățirea siguranței operațiunilor.

În ceea ce privește ROMÂNIA, în perioada 1974÷1988, la Şantierul Naval din Galaţi au fost construite 7(șapte) platforme de foraj marin: Gloria (1976), Orizont (1981), Prometeu (1984), Fortuna și Atlas (1985), Jupiter (1987), Saturn (1988).

Platforma Gloria (*v. Fig.3*.a.) este prima platformă de foraj marin din România. Aceasta a fost inaugurată și, totodată, la data de 19 august 1976 a intrat în dotarea Petromar, fiind construită după o licenţă americană (*Offshore CO, SUA*).

Sursa: google.com

Fig. 3.a. Platforma Gloria (autoelevatoare).

În anul 1980, platforma Gloria a finalizat forajul la sonda *Lebăda-8*, care a devenit "prima descoperire comercială offshore de hidrocarburi din România".

În perioada 1976÷1986, Gloria a funcţionat ca platformă de foraj offshore, forând 17 sonde cu o lungime cumulată de aproximativ 50.000 m.

Între anii 1987 şi 1998, Gloria a fost folosită ca platformă de producţie pentru primul zăcământ offshore *Lebăda-Est*, pus în producţie în România.

Începând din 1998, platforma Gloria s-a aflat pe zăcământul *Sinoe*, la aproximativ 30 km de țărm, în ape de aproximativ 40 m adâncime și a fost folosită ca platformă de producție.

În anul 2019, platforma marină Gloria este retrasă din producție, fiind transportată cu succes la țărm, în Portul Agigea, jud. Constanța, România.

Figura 3.b. reprezintă o imagine a platformei semisubmersibile Transocean Barents[4], în Marea Neagră, deplasându-se spre perimetrul Neptun Deep, România.

Sursa: google.com

Fig. 3.a. Platforma semisubmersibile Transocean Barents .

În *Figura 3*.c. este reprezentată nava de foraj West Saturn, care efectuează operațiuni de foraj la sonda Opal din blocul CM-89 (adâncimea apei de 2.678m) al câmpului petrolifer Campos (Brazilia), operațiuni reluate de organizația ExxonMobil.

Sursa: jpt.spe/exxonmobil

Fig. 3.c. Nava de foraj West Saturn.

[4] *Instalația poate găzdui 140 de lucrători și este capabilă să funcționeze la adâncimi de apă de până la 3.000 m, iar adâncimea maximă de foraj este 9.000 m.*

Coloana de risere este prezentată, schematic, ca o grindă conectată la partea inferioară a ansamblului de prevenitoare de erupţie prin intermediul unei articulaţii, iar la partea superioară sub masa rotativă, tot prin intermediul unei articulaţii (*v. Fig.4*).

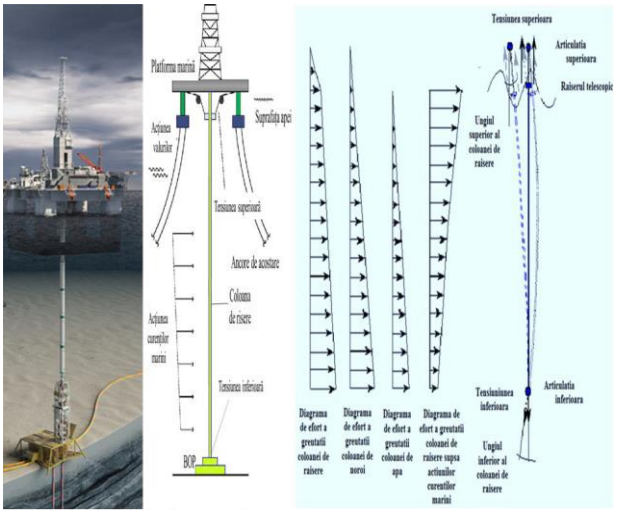


Fig.4. Forțele care afectează stabilitatea sistemtului de risere

Din *Figura 4* se poate observa că, configurarea coloanei de risere are un rol important în stabilirea parametrilor operaţionali optimi ai unei platforme de foraj.

Sondele multilaterale (*v. Fig.5*) sunt indicate atunci când condiţiile de suprafaţă nu permit amenajarea de locaţii noi (!și nu numai). Acest sistem este foarte eficient, deoarece prin sonde multilaterale se reduce atât numărul capetelor de erupţie cât şi lungimea conductelor. Deci, forajul multilateral minimizează numărul de platforme offshore, ceea ce reduce costurile prin reducerea timpului de infrastructură și de instalare.

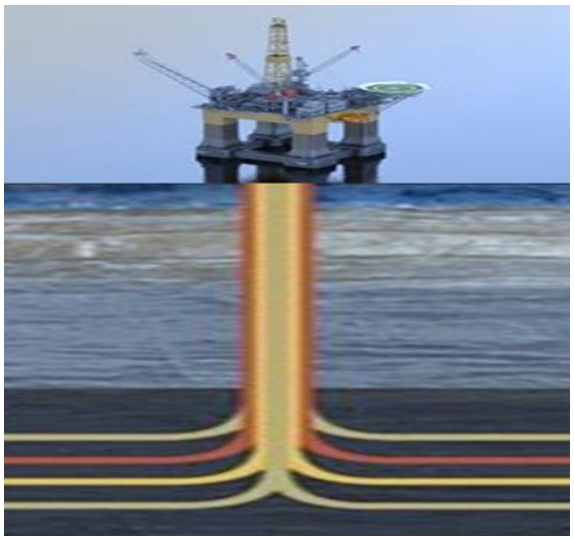


Fig. 5. Forajul direcțional și multilateral (*imagine de ansamblu*)

Evident, fiecare cap de sondă nou, coloană verticală și echipament de producție suplimentar adaugă cheltuieli considerabile. Metoda forajului multilateral oferă o flexibilitate mai mare în managementul producției și, totodată, permite operatorilor să se adapteze eficient la condițiile în schimbare - contribuind la conservarea ecosistemelor subacvatice și a biodiversității. Prin urmare, forajul multilateral maximizează eficiența, minimizând în același timp costurile și impactul asupra mediului.

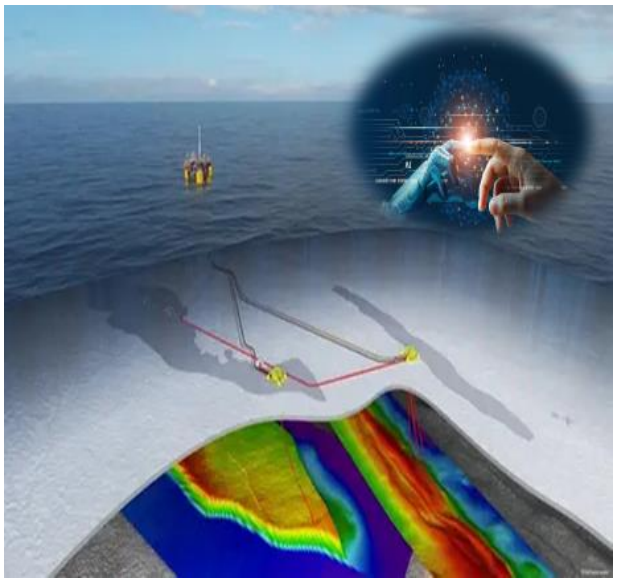
Câteva aspecte cheie care evidențiază, în special, abordările forajului multilateral în contextul operațiunilor offshore sunt prezentate în *tabelul nr. 1*.

Tabelul 1. **Comparație între forajul convențional și forajul multilateral**

Nr. crt.	Titlul	Forajul convențional	Forajul multilateral
1	Proiectarea și structura sondelor	Sonda realizată prin forajul vertical sau direcțional este unică pentru o singură zonă.	Mai multe sonde laterale forate dintr-o singură sondă principală, accesând mai multe zone.
2	Cerințe de infrastructură	Necesită infrastructură separată pentru fiecare sondă (capete de sondă, coloane).	Reduce nevoile de infrastructură prin consolidarea mai multor rezervoare într-o singură sondă.
3	Acces la zăcământul de hidrocarburi	Limitat la o zonă de rezervor per sondă, ceea ce ar putea lăsa zone productive neexploatate.	Maximizează contactul cu rezervorul prin accesarea mai multor zone, sporind potențialul de recuperare.
4	Impactul asupra mediului	Crește perturbările mediului și riscul de scurgeri cu fiecare sondă nou forată.	Reduce la minimum perturbarea fundului mării și riscul de scurgeri datorită numărului mai mic de sonde, promovând sustenabilitatea.
5	Management ul producției	Limitat la gestionarea producției dintr-o singură zonă la un moment dat, ceea ce complică strategia.	Permite gestionarea independentă a fiecărei sonde laterale, oferind flexibilitate în strategiile de producție.
6	Eficiența operațională	Operațiuni mai complexe datorită multiplelor sonde și infrastructurii.	Operațiuni simplificate cu nevoi reduse de întreținere și logistică.
7	Eficiența costurilor	Costuri mai mari din cauza forării mai multor sonde și a infrastructurii extinse.	Eficient din punct de vedere al costurilor prin reducerea cheltuielilor de foraj și operare prin mai puține sonde.

Platformele de foraj autonome în ape adânci

Platformele de foraj autonome reprezintă o evoluție de ultimă generație în industria petrolieră, oferind o eficiență și o siguranță fără precedent în operațiunile de foraj prin intermediul tehnologiilor avansate de automatizare. În esență, aceste platforme utilizează o combinație de robotică, inteligență artificială (IA) și sisteme de control automat pentru a efectua activități de foraj cu o intervenție umană minimă (*v. Fig.6*).



Sursa: oedigital.com (prelucrată)

Fig. 6. Forajul autonom în ape adânci (*imagine de ansamblu*)

Spre deosebire de platformele tradiționale care necesită o implicare umană semnificativă, platformele de foraj autonome pot efectua o gamă largă de sarcini independent, precum: manipularea garniturilor de foraj, declanșarea, gestionarea presiunii și forajul direcțional. Mai mult, prin minimizarea implicării umane în medii periculoase și reducerea probabilității de erori operaționale, platformele autonome sporesc siguranța lucrătorilor și îmbunătățesc eficiența generală a operațiunilor de foraj.

Platformele de foraj autonome sunt deosebit de avantajoase în medii îndepărtate și dure, cum ar fi: ape cu adâncime mare, ape cu adâncime ultra-mare, regiunile arctice, unde complexitatea operațiunilor și condițiile extreme prezintă provocări semnificative pentru platformele tradiționale. În aceste contexte, platformele autonome pot funcționa continuu cu timpi de nefuncționare minimi, maximizând astfel productivitatea și reducând riscurile operaționale.

4. CONCLUZII

Forajul offshore nu se deosebeşte, în principal, de forajul onshore, dar presupune o serie de modificări ale instalaţiilor de la gura sondei, pentru a corespunde condiţiilor de foraj offshore (marin).

Forajul multilateral oferă un avantaj semnificativ prin capacitatea de a controla producția din mai multe zăcăminte comerciale[5] în mod independent, permițând operatorilor să optimizeze producția în funcție de cerințele pieței.

În ceea ce privește sarcinile gravitaționale, greutatea echipamentelor (coloana de tubaj, coloană de foraj, raizer, Blowout Preventer - BOP etc.) exercită o presiune considerabilă asupra structurii capului de sondă și a fundației de pe fundul mării.

În ceea ce privește forțele hidrodinamice, valurile, curenții, mareele exercită forțe dinamice semnificative asupra coloanei de raizer și a capului de sondă. De asemenea, platformele de foraj (nave, semisubmersibile) sunt supuse mișcărilor induse de valuri, care transmit sarcini dinamice prin raizer către capul de sondă. Aceste forțe pot induce vibrații și oboseală în materiale.

În ceea ce privește platformele de foraj autonome, acestea devin o soluție cheie pentru obținerea unei productivități mai mari, reducând în același timp costurile și impactul asupra mediului.

Se recomandă:

1) Dezvoltarea de materiale noi, mai rezistente la oboseală și coroziune, cu o densitate mai mică, pentru a reduce greutatea și a îmbunătăți performanța structurală.
2) Implementarea senzorilor pe capetele de sondă și raizere pentru a monitoriza tensiunile, vibrațiile și parametrii de mediu în timp real, permițând intervenții preventive.
3) Utilizarea IA pentru a optimiza parametrii de foraj și a prezice comportamentul dinamic al sistemului în diverse condiții.
4) O combinație de IA și robotică este ceea ce diferențiază platformele de foraj autonome de platformele tradiționale, făcându-le capabile să execute strategii complexe de foraj cu o precizie mai mare și cu erori umane reduse.

Ca o concluzie generală, forajul offshore în zone cu ape adânci este esențial pentru a completa cererea de tiței și gaze în viitor. Costurile și riscurile asociate unor astfel de proiecte sunt ridicate și se fac pe termen

[5] *Zăcământ comercial se consideră acela pentru care s-a dovedit posibilitatea recuperării petrolului în condiţiile tehnice existente şi economice stabilite*.

lung. Mai mult, viabilitatea acestora este afectată de variația prețului petrolului.

BIBILOGRAFIE

[1] Antonescu, N.N.: *The Romanian Petroleum-Gas Higher Education-Past, Present and Future*, Editura Universităţii Petrol-Gaze din Ploieşti, 2000.

[2] Tudorache, V.P., Antonescu, N.N. ș.a.: *Problematica stabilității coloanei de raizere pentru forajul în ape adânci și ultra-adânci*, EMERG, 2017.

[3] Tudorache, V.P: *Aspecte generale privind optimizarea forajului dirijat prin sistem de sonde multilaterale și creșterea productivității sondelor cu investiții minime*, MPG, 2017.

[4] Tudorache, V.P.: *PLATOUL CONTINENTAL AL MĂRII NEAGRE: O șansă pentru securitatea energetică a României & Uniunii Europene*; MPG, 2018.

[5] Tudorache, V.P., Stan, M. ș.a.: *Elements constituent for the design of a riser system in areas deep water and extreme deep water applied for offshore drilling*; EMERG, 2020.

[6] ****https://lege5.ro/App/Document/gezdenrsga3ds/legea-nr-256-2018-privind-unele-masuri-necesare-pentru-implementarea-operatiunilor-petroliere-de-catre-titularii-de-acorduri-petroliere-referitoare-la-perimetre-petroliere-offshore-si-onshore-de-adanc?d=18.07.2024*

[7] ****https://focuspress.ro/video-platforma-care-va-fora-dupa-gaze-in-cadrul-neptun-deep-a-intrat-in-marea-neagra/*

[8] ****https://www.researchandmarkets.com/report/autonomous-drilling*

[9] ****https://www.oedigital.com/news/488825-equinor-partners-move-to-develop-norwegian-sea-discoveries*

[10] ****www.google.com*

Despre autor

Dr. ing. dipl. **Valentin-Paul TUDORACHE**
Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești; CONPET S.A.-Ploiești, Ploiești, România

Absolvent al Universității Petrol-Gaze din Ploiești, Facultatea Forajul Sondelor și Exploatarea Zăcămintelor, 1996. A continuat cu studiile aprofundate, studiile masterale și studiile academice postuniversitare obținînd diploma MBA la I.N.D.E. / Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești și la Universitatea ″PARIS XII - EST″ CRETEIL Val-de-Marne din Paris. În perioada 1998-1999 a colaborat ca asistent universitar la Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești. Și-a susținut public Teza de doctorat cu titlul ″RESEARCH ON OPTIMIZATION OF THE NATIONAL SYSTEM OF PIPELINE CRUDE OIL TRANSPORTATION IN ROMANIA″ obținând titlul științific de DOCTOR în științe inginerești, domeniul: mine, petrol și gaze, cu distincția: MAGNA CUM LAUDE, în anul 2014. Din anul 2000 lucrează ca inginer la CONPET S.A.-Ploiești, iar din anul universitar 2014/2015 - prezent este cadru didactic asociat la Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești – Facultatea de Inginerie Mecanică și Electrică, Facultatea de Ingineria Petrolului și Gazelor și Facultatea de Ştiinţe Economice. A publicat -*ca autor și coautor*- peste 100 de articole în reviste și volume de specialitate românești și din străinătate. Este membru în asociații profesionale de prestigiu, naționale și internaționale. Este membru în Adunarea Generală și Președinte Sucursala Prahova a AGIR (Asociația Generală a Inginerilor din România).