



**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII**  
**UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI**  
B-dul. București nr. 39, 100680, Ploiești, România, [www.upg-ploiesti.ro](http://www.upg-ploiesti.ro)  
Telefon +40 244 573 171 Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE  
DOCTORAT

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

**TEZĂ DE DOCTORAT**  
**CONTRIBUȚII PRIVIND**  
**VALORIFICAREA POTENȚIALULUI**  
**ENERGETIC AL APELOR SUBTERANE**

**CONTRIBUTIONS TO THE**  
**VALIDATION OF THE ENERGY**  
**POTENTIAL OF GROUNDWATER**  
**ABSTRACT**

**Autor: Drd.Ing. Purghele C.F. Ioana Andreea**  
**Conducător științific: Prof. Univ. Habil. Dr.Ing.Maria Stoicescu**

**Ploiești, 2026**



**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII**  
**UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI**

B-dul. București nr. 39, 100680, Ploiești, România, [www.upg-ploiesti.ro](http://www.upg-ploiesti.ro)

Telefon +40 244 573 171

Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE

DOCTORAT

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI

DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

# TEZĂ DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND VALORIFICAREA  
POTENȚIALULUI ENERGETIC AL APELOR**

**SUBTERANE**

**ABSTRACT**

**Autor: Drd.Ing. Purgel C.F. Ioana Andreea**

**Conducător științific: Prof. Univ. Habil. Dr.Ing.Maria Stoicescu**

**Comisia de doctorat:**

|                              |  |       |   |
|------------------------------|--|-------|---|
| <b>Președinte</b>            | Prof. univ. habil. dr. ing.<br>Timur-Vasile CHIȘ |       | Universitatea Petrol-Gaze din<br>Ploiești |
| <b>Conducător științific</b> | Prof. habil. dr. ing. Maria<br>STOICESCU         |       | Universitatea Petrol-Gaze din<br>Ploiești |
| <b>Referent oficial</b>      | Prof. habil. dr. ing. Silvian<br>SUDITU          | de la | Universitatea Petrol-Gaze din<br>Ploiești |
| <b>Referent oficial</b>      | Prof. univ. habil. dr. ing.<br>Mihaela TODERAȘ   | de la | Universitatea din Petroșani               |
| <b>Referent oficial</b>      | Conf. univ. dr. ing. Ciprian<br>Gheorghe DANCIU  | de la | Universitatea din Petroșani               |

**Ploiești 2026**

---

## Abstract

O investiție (mai ales dacă este susținută de fonduri de dezvoltare europene) care să aducă confort în viața studenților Universității Petrol-Gaze din Ploiești, reprezintă un succes atât din punct de vedere științific cât și investițional având în vedere că pentru realizarea acestui proiect au fost necesare să se rezolve, pe lângă nivelul redus de capabilitate termică a apelor situate la adâncimea de 100 m, problema influenței poluanților istorici din zona de sud a Ploieștiului.

În acest sens am propus și scris această teză de doctorat pornind de la rezolvarea:

a.asigurarea unui nivel de transfer termic la valoare maximă a eficienței economico-finaciare,

b.exploatarea sistemului realizat în concordanță cu standardele internaționale,

c.analiza termiei solului din zona de studiu,

d.studiul stresului termic și hidraulic asupra rocilor și stratelor freactice din zona de studiu,

e.analiza influenței poluanților asupra transferului de căldură.

Energia geotermală reprezintă o resursă energetică fundamentală, provenind din căldura stocată în interiorul planetei noastre.

Spre deosebire de sursele regenerabile dependente de soare, precum energia solară sau eoliană, cea geotermală este o manifestare directă a dinamicii interne a Pământului.

Sursa energiei geotermale se datorează **căldurii primordială**, care reprezintă energia termică reziduală, o moștenire veche de 4.5 miliarde de ani de la formarea violentă a planetei.

Procese precum coliziunea corpurilor cerești și diferențierea nucleului, mantalei și scoarței au generat o căldură imensă, încă stocată în centrul Pământului, unde temperaturile depășesc 5000 °C.

De asemeni energia geotermală se datorează și fenomenului datorat căldurii radiogene, care este un proces continuu ce asigură durabilitatea resursei.

În rocile din scoarța și mantaua terestră, izotopi radioactivi precum uraniu (238U, 235U), toriu (232Th) și potasiu (40K) se dezintegrează natural, generând constant căldură. Acest „motor” nuclear natural este responsabil pentru aproximativ 50% din totalul căldurii care ajunge la suprafață

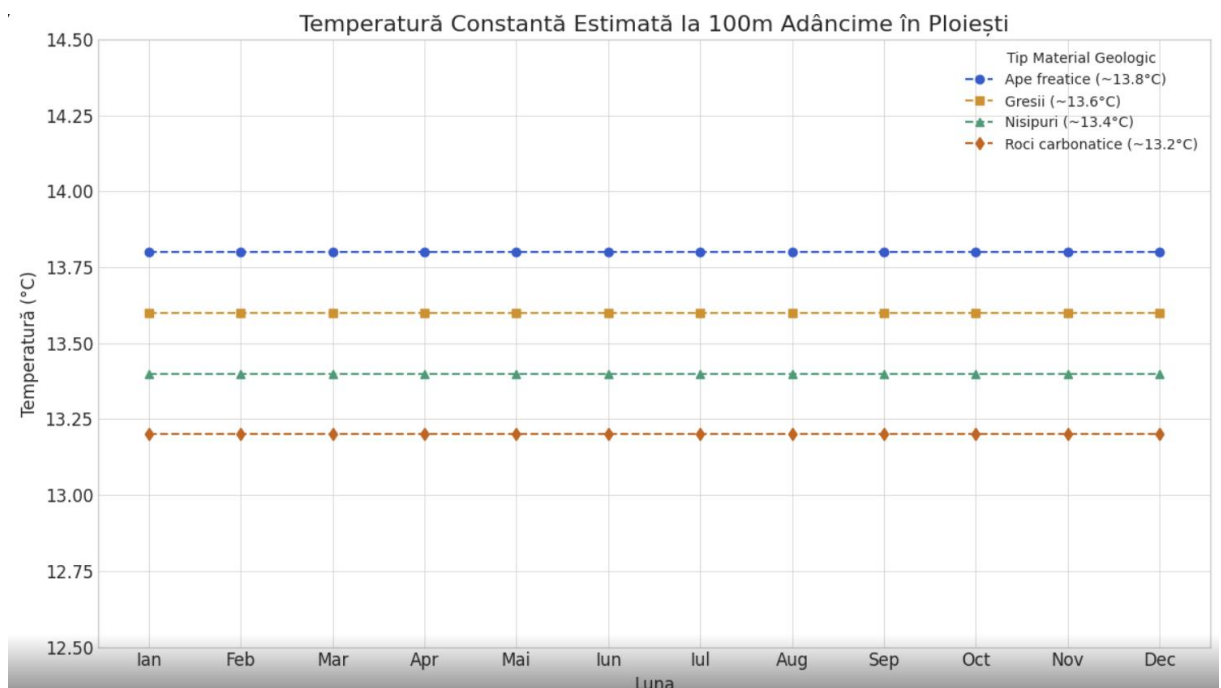
Împreună cele două surse generează un flux termic total de circa 44.2 TW ( $4.42 \times 10^{13}$  wați), care radiază constant din interiorul fierbinte al planetei spre suprafață.

Faptul că Pământul produce în mod continuu propria căldură prin dezintegrare radioactivă îi conferă un avantaj major: sustenabilitatea pe scară geologică.

În timp ce combustibilii fosili sunt resurse finite (energie solară stocată), iar alte surse regenerabile depind de cicluri scurte (zi/noapte, anotimpuri), energia geotermală este o resursă constantă.

În subsolul Ploieștiului, temperatura este situată la adâncimea de 100 m la o valoare de 13-14°C.

În acest caz, utilizarea acestui gradient termic, poate fi util industriei geotermale, deoarece temperatura fiind situată între valorile de 13,2 și 13,8 °C (funcție de tipul rocilor) și mai ales constantă pe durata întregului an.



Tocmai de aceea studiul de față aduce un număr mare de cercetări științifice și tehnici de actualitate, diseminate în mai multe articole și mai ales în proiectarea, construcția și exploatarea sistemului tehnic de recuperare a căldurii din zona Universității Petrol-Gaze din Ploiești.

Capitolul 2 tratează modelarea influenței poluanților asupra potențialului geotermal al subsolului .

Poluarea se extinde frecvent de la apele de suprafață la cele subterane, unde reprezintă un pericol considerabil mai mare.

Gravitatea contaminării apelor subterane este accentuată de faptul că acestea constituie principala sursă de apă potabilă.

Totodată, gestionarea acestui tip de poluare este extrem de dificilă, deoarece identificarea cu precizie a arealului afectat, a cantității de poluant, precum și a sursei și momentului contaminării, reprezintă provocări majore.

Vulnerabilitatea acviferelor este cauzată și de capacitatea limitată a solului de a filtra și reține substanțele nocive deversate la suprafață.

Din acest motiv, o gamă variată de poluanți ajung să contamineze pânza freatică, printre care se numără: detergenți sintetici, fenoli, cianuri, pesticide, insecticide, ierbicide, săruri provenite din îngrășăminte chimice și chiar reziduuri din industria nucleară [1].

O categorie importantă de contaminanți este reprezentată de hidrocarburile petroliere, care ajung în apele subterane în special în urma deversărilor accidentale la suprafața solului. Anumiți compuși ai acestora, precum alchilbenzenii, sunt solubili în apă și afectează puternic calitatea acesteia.

Mai mult, unii dintre acești compuși hidrosolubili, cum este benzenul, au un cunoscut potențial cancerigen [2].

Contactul petrolului cu solul declanșează modificări profunde ale proprietăților fizice, chimice și biologice ale acestuia.

Aceste transformări sunt rezultatul volatilizării compușilor ușori și al migrării selective a poluantului pe profilul solului, un proces dictat de polaritatea componentelor [3].

Se produce astfel o stratificare a contaminanților: hidrocarburile saturate, fiind mai puțin polare, pătrund la adâncimi mai mari, urmate de cele aromatice.

În contrast, componenții polari, precum asfaltenele, se acumulează la suprafață sub forma unei pelicule compacte.

Acest strat blochează schimbul de gaze cu atmosfera și creează condiții de anaerobioză, care reduc semnificativ activitatea metabolică a microorganismelor din sol [4].

În zona de analiză a acestei teze de doctorat am analizat poluarea stratului acvifer cu petrol, acest tip de poluare fiind datorat distrugerii rafinăriilor în timpul celui de-al doilea război mondial.

Poluarea unui acvifer cu produse petroliere este un proces complex, care se desfășoară în

două etape principale:

- Etapa de migrare a poluantului: Această primă etapă începe de la sursa de poluare. Substanțele petroliere se deplasează în subsol și se acumulează în zona capilară (deasupra pânzei freatice), formând un strat rezidual plutitor.
- Etapa de transfer și poluare chimică: Ulterior, hidrocarburile solubile din petrolul rezidual se dizolvă treptat în apa subterană. Acest transfer generează o poluare chimică, manifestată prin creșterea conținutului de substanțe organice. Poluarea este amplificată și de procesele de biodegradare a substanțelor petroliere reținute în sol.

Aceste două etape fundamentale ale mecanismului de poluare pot fi detaliate în patru faze distincte:

1. Migrația fazei poluate: Deplasarea fizică a masei de produs petrolier.
2. Schimbul dintre produsul petrolier și apa subterană: Transferul de masă între petrolul imiscibil și apă.
3. Antrenarea și dispersia hidrocarburilor: Răspândirea urmelor de hidrocarburi dizolvate în apa subterană.
4. Evoluția în timp a transferului: Modificarea în timp a ratei de transfer a poluanților în apă.

Capitolul 3 se referă la analiza poluanților. Compoziția țițeiului și a produselor petroliere derivate este un amestec eterogen de hidrocarburi, completat de compuși organici și cantități minore de sulf, oxigen, azot și metale (nichel, vanadiu, fier). Obținute în urma unor fluxuri tehnologice de prelucrare, aceste produse sunt formulate pentru a satisface cerințe specifice de calitate și proprietăți fizice impuse de utilizatori. Performanța și stabilitatea carburanților sunt adesea ameliorate prin utilizarea de aditivi specializați și agenți de etilare. Printre principalele produse discutate se numără benzina și distilatele medii, precum motorina, combustibilii lichizi de focare și carburantul pentru aviația cu reacție. Benzina se distinge printr-o compoziție chimică extrem de variată, conținând sute de compuși, atât alifatici (ex: butan, pentan, octan), cât și aromatici (ex: benzen, toluen, etilbenzen, xileni - BTEX). Compușii aromatici, în special cei mai volatili și solubili din carburanții de tip Diesel, pot funcționa ca un indicator util pentru identificarea scurgerilor recente. O diferență fundamentală între benzină și motorină este volatilitatea; presiunea de vapori a benzinei este cu cel puțin un ordin de mărime superioară celei a motorinei.

Distilatele medii (kerosen, motorină) pot avea în componență aproximativ 500 de substanțe distincte, caracterizate, în majoritatea lor, printr-o solubilitate și volatilitate inferioare

compușilor din benzină. Concentrația de aromatice BTEX în aceste produse este de obicei redusă, situându-se sub 1,5% din masă. Prin urmare, în cazul unor deversări mai vechi de distilate medii, compușii aromatici ar putea fi nedetectabili, ca urmare a procesului natural de volatilizare.

În urma rezultatelor obținute, putem deduce că în cazul unei poluări necunoscute cu benzină și motorină sau chiar a unui amestec al aceste două produse petroliere al apelor subterane cu produse petroliere, putem identifica tipul de produs petrolier în funcție de concentrația toluenului pe baza spectrometriei FT-IR.

Caracterizarea chimică și identificarea surselor de poluare cu produselor petroliere din apele subterane sunt extrem de importante pentru alegerea unui răspuns corespunzător și luarea măsurii efective de curățare.

Capitolul 5 analizează proiectul UPG Ploiești pentru creșterea eficienței energetice utilizând geotermia apelor subterane.

În urma monitorizării funcționării acestui sistem după un an, am simulat stresul termic indus de către exploatarea apelor din subteran.

Astfel în prima parte am analizat temperatura de ieșire a agentului de încălzire a apei termice din pompa de căldură, funcție de temperatura solului măsurată la preluarea apei și la injectarea apei în foraj și de asemeni funcție de temperatura agentului de intrare în pompa de căldură (a apei din sondă).

Această teză de doctorat a plecat de la realizarea investiției necesare creșterii eficienței termice a clădirilor din cadrul Universității Petrol-Gaze din Ploiești, ca urmare a utilizării resurselor geotermale.

În acest sens această teză de doctorat a dorit rezolvarea următoarelor probleme:  
a.asigurarea unui nivel de transfer termic la valoare maximă a eficienței economico-finaciare,  
b.exploatarea sistemului realizat în concordanță cu standardele internaționale,

- 
- c.analiza termiei solului din zona de studiu,
  - d.studiul stresului termic și hidraulic asupra rocilor și stratelor freactice din zona de studiu,
  - e.analiza influenței poluanților asupra transferului de căldură.

Astfel plecând de la definirea energiei geotermale ca o resursă energetică fundamentală, provenind din căldura stocată în interiorul planetei noastre am dorit să analizăm manifestarea directă a dinamicii interne a Pământului și în speță energie geotermală, ca fiind o resursă constantă și predictibilă.

Fluxul termic al Pământului este alimentat de două surse principale, care acționează complementar:

#### **a) Căldura Primordială**

Această componentă reprezintă energia termică reziduală, o moștenire veche de 4.5 miliarde de ani de la formarea violentă a planetei. Procese precum coliziunea corpurilor cerești și diferențierea structurală în nucleu, manta și scoarță au generat o cantitate imensă de căldură. Această energie este încă stocată în centrul Pământului, unde temperaturile depășesc 5000 °C.

#### **b) Căldura Radiogenă**

Reprezentând un proces continuu care asigură durabilitatea resursei, căldura radiogenă este generată de dezintegrarea naturală a izotopilor radioactivi din rocile scoarței și mantalei terestre.

Elementele precum uraniu ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ), toriu ( $^{232}\text{Th}$ ) și potasiu ( $^{40}\text{K}$ ) acționează ca un „motor” nuclear natural, responsabil pentru aproximativ 50% din totalul căldurii care ajunge la suprafață.

Împreună, cele două surse generează un flux termic total de circa 44.2 TW ( $4.42 \times 10^{13}$  wați), care radiază constant din interiorul fierbinte al planetei spre suprafață.

Faptul că Pământul produce în mod continuu propria căldură prin dezintegrare radioactivă îi conferă un avantaj major: sustenabilitatea pe scară geologică. În timp ce combustibilii fosili sunt resurse finite (reprezentând, în esență, energie solară stocată), iar alte surse regenerabile depind de cicluri scurte (zi/noapte, anotimpuri), energia geotermală este o resursă constantă și independentă de condițiile de la suprafață.

În subsolul zonei Ploiești, la o adâncime de 100 de metri, se înregistrează o temperatură constantă pe parcursul întregului an, situată între 13°C și 14°C. Mai exact, valorile variază între 13,2°C și 13,8°C, în funcție de tipologia rocilor locale.

Utilizarea acestui gradient termic prezintă un potențial semnificativ pentru aplicații geotermale de joasă entalpie (precum sistemele cu pompe de căldură).

Caracterul constant al acestei resurse termice o face o soluție fiabilă pentru climatizarea clădirilor, independent de variațiile de temperatură sezoniere de la suprafață.

Capitolul I analizează stresului termic și hidraulic asupra apelor și rocilor subterane în urma exploatării apelor termale.

Am analizat cadrul geologic al resurselor termice din zona municipiului Ploiești, efectuând o analiză complexă a acviferelor în Zona Municipiului Ploiești.

De asemenea am reușit să creez un model numeric dedicat analizei zonei de protecție sanitară a unui foraj de exploatare a resurselor geotermale.

În urma evaluării pe baza programului Python am creat un model numeric bazat pe regresie multiplă (și pe date de Inteligență Artificială), care are următoarea structură:

$$Y \text{ (Zona de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2), raza în m)} = 79,3120639 + 1335,337464 X1 \text{ (Debitul de exploatare (Q), m}^3\text{/s)} - 3,61 X2 \text{ (Grosimea stratului acvifer (H), m)} - 214,7333333 X3 \text{ (Porozitatea efectivă (n}_e\text{))} + 1,805 X4 \text{ (Timp de supraviețuire poluanți, zile)}$$

Ecuția zonei de protecție cu regim de restricție este următoarea:

$$Y = 79,3120639 + 1335,337464 X1 - 3,61 X2 - 214,7333333 X3 + 1,805 X4$$

Coeficientul de regresie este  $R^2=0,977353106$ .

Am rezolvat această ecuație în programul de inteligență artificială, dar și am analizat influența fiecărui factor de variație.

- Impactul lui X1: Vedem o linie cu o pantă pozitivă foarte abruptă. Acest lucru confirmă coeficientul mare și pozitiv (+1335,34). O mică creștere a lui X1 duce la o creștere foarte mare a lui Y.
- Impactul lui X2: Linia are o pantă negativă. Conform coeficientului (-3,61), pe măsură ce X2 crește, Y scade.
- Impactul lui X3: Aici vedem cea mai abruptă pantă negativă, ceea ce corespunde coeficientului foarte mare și negativ (-214,73). X3 are un impact negativ foarte puternic asupra lui Y.
- Impactul lui X4: Linia are o pantă pozitivă, dar mult mai lină decât cea a lui X1. Coeficientul (+1,805) indică o creștere modestă a lui Y pentru fiecare unitate adăugată la X4.

Modelarea numerică a comportării stratelor de apă a fost efectuată într-un model de regresie liniară de ordinul 4, ecuațiile determinate pentru prima oară.

$$Y = -0,05709 + 0,00264 X1 + 0,157008 X2 - 0,00132 X3 + 0,000731 X4$$

Unde:

- Y, este Debitul de exploatare (Q), m<sup>3</sup>/s.
- X1, este Grosimea stratului acvifer (H), m,
- X2, este Porozitatea efectivă (n<sub>e</sub>),
- X3, reprezintă Timpul de supraviețuire a poluanților, zile,
- X4, este Zona de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2), raza în m.

Totodată am creat și un program în Inteligență artificială care să ne ofere un mod de evaluare a debitului de exploatare funcție de grosimea stratului acvifer, de porozitatea efectivă, de timpul de supraviețuire a poluanților și mai ales de mărimea zonei de protecție cu regim de restricție.

#### **Cele 4 Variante de Modele AI (figura 1.5)**

1. **Regresia Liniară (Linear Regression):** Cel mai simplu model. Încearcă să găsească exact o relație liniară (o ecuație) în date. Deoarece datele noastre provin dintr-o ecuație liniară, ne așteptăm ca acest model să aibă o performanță perfectă și să găsească coeficienții originali.
2. **Regresia Ridge (Ridge Regression):** O variantă a regresiei liniare care adaugă o "penalizare" pentru a preveni complexitatea excesivă (overfitting). Este utilă în seturi de date mai complexe, dar o vom folosi aici pentru comparație.
3. **Random Forest Regressor:** Un model avansat, non-liniar, bazat pe o "pădure" de arbori de decizie. Este foarte puternic și flexibil, capabil să învețe relații mult mai complexe decât cele liniare.
4. **Gradient Boosting Regressor:** Un alt model avansat, de tip ansamblu, care construiește modele secvențial, fiecare corectând erorile precedentului. Adesea, oferă performanțe de top pe date structurate.

De asemenea am mai creat un model numeric care să ne ofere date privind Zona de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2) funcție de Grosimea stratului acvifer (H), Porozitatea efectivă, Timpul de supraviețuire a poluanților și Debitul de exploatare.

$$Y = 79,31206 - 3,61 X1 - 214,733 X2 + 1,805 X3 + 1335,337 X4$$

Unde:

- Y, este Zona de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2), raza în m
- X1 este Grosimea stratului acvifer (H), m,
- X2 este Porozitatea efectivă (n<sub>e</sub>),

- X3 reprezintă Timpul de supraviețuire a poluanților, zile,
- X4, este Debitul de exploatare (Q), m<sup>3</sup>/s.

Și în acest caz am reprezentat grafic influența lui X2, X3, X4 asupra lui Y (figura 1.6).

De asemeni am simulat și cele patru modele AI pentru descrierea influenței Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2) funcție de Grosimea stratului acvifer (H), Porozitatea efectivă, Timpul de supraviețuire a poluanților și Debitul de exploatare.

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Regresie Liniara

- Scor (R<sup>2</sup>): 1,000000
- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,000000

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Regresie Ridge

- Scor (R<sup>2</sup>): 1,000000
- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,000000

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Random Forest

- Scor (R<sup>2</sup>): 0,999719
- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,005500

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Gradient Boosting

- Scor (R<sup>2</sup>): 0,999802
- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,003881

Pe baza ecuației  $Y = -0,05709 + 0,00264 \cdot X1 + 0,157008 \cdot X2 - 0,00132 \cdot X3 + 0,000731 \cdot X4$ , influența fiecărei variabile asupra rezultatului final Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) este determinată de **semnul (+ sau -)** și de **mărimea coeficientului** său.

**Variabila dominantă este, de departe, X2 (Porozitatea efectivă).**

Modificările în valoarea lui X2 (Porozitatea efectivă) au un impact mult mai mare asupra lui Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) decât toate celelalte variabile la un loc.

Variabila X3 (Timpul de supraviețuire a poluanților) este singura care are o influență negativă (scade valoarea lui Y), în timp ce X4 (Debitul de exploatare) are cea mai slabă influență pozitivă.

### 1. Influența lui X2 (Porozitatea efectivă) (Coeficient: +0,157008)

- **Tipul influenței:** Pozitivă și foarte puternică.
- **Explicație:** Acesta este factorul cel mai important. Deoarece coeficientul său (0,157008) este mult mai mare decât al celorlalte variabile, orice modificare în X2 (Porozitatea efectivă) va produce o modificare semnificativă în Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)).
- **Exemplu practic:** Dacă X2 (Porozitatea efectivă) crește cu **10 unități**, Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) va crește cu aproximativ **1,57 unități** ( $10 * 0,157008$ ), presupunând că celelalte variabile rămân constante.

### 2. Influența lui X1 (Grosimea stratului acvifer (H) (Coeficient: +0,00264)

- **Tipul influenței:** Pozitivă, dar slabă.
- **Explicație:** Deși contribuie la creșterea lui Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) , impactul său este redus. Coeficientul este mic, de aproximativ 60 de ori mai mic decât cel al lui X2 (Porozitatea efectivă).
- **Exemplu practic:** Dacă X1 (Grosimea stratului acvifer (H) crește cu **10 unități**, Y Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) va crește cu doar **0,0264 unități** ( $10 * 0,00264$ ).

De asemenea am mai creat un model numeric care să ne ofere date privind Zona de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2) funcție de Grosimea stratului acvifer (H), Porozitatea efectivă, Timpul de supraviețuire a poluanților și Debitul de exploatare.

$$Y = 79,31206 - 3,61 X1 - 214,733 X2 + 1,805 X3 + 1335,337 X4$$

Unde:

- Y, este Zona de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2), raza în m
- X1 este Grosimea stratului acvifer (H), m,
- X2 este Porozitatea efectivă ( $n_e$ ),
- X3 reprezintă Timpul de supraviețuire a poluanților, zile,
- X4, este Debitul de exploatare (Q),  $m^3/s$ .

Și în acest caz am reprezentat grafic influența lui X2, X2, X3, X4 asupra lui Y (figura 1.6).

De asemeni am simulat și cele patru modele AI pentru descrierea influenței Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2) funcție de Grosimea stratului acvifer (H), Porozitatea efectivă, Timpul de supraviețuire a poluanților și Debitul de exploatare.

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Regresie Liniara

- Scor ( $R^2$ ): 1,000000

- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,000000

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Regresie Ridge

- Scor ( $R^2$ ): 1,000000

- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,000000

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Random Forest

- Scor ( $R^2$ ): 0,999719

- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,005500

Antrenare și evaluare pentru modelul:

Gradient Boosting

- Scor ( $R^2$ ): 0,999802

- Eroarea Medie Patratică (MSE): 0,003881

Pe baza ecuației  $Y = -0,05709 + 0,00264 \cdot X1 + 0,157008 \cdot X2 - 0,00132 \cdot X3 + 0,000731 \cdot X4$ , influența fiecărei variabile asupra rezultatului final Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) este determinată de **semnul (+ sau -)** și de **mărimea coeficientului** său.

**Variabila dominantă este, de departe, X2 (Porozitatea efectivă).**

Modificările în valoarea lui X2 (Porozitatea efectivă) au un impact mult mai mare asupra lui Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) decât toate celelalte variabile la un loc.

Variabila X3 (Timpul de supraviețuire a poluanților) este singura care are o influență negativă (scade valoarea lui Y), în timp ce X4 (Debitul de exploatare) are cea mai slabă influență pozitivă.

### 1. Influența lui X2 (Porozitatea efectivă) (Coeficient: +0,157008)

- **Tipul influenței:** Pozitivă și foarte puternică.
- **Explicație:** Acesta este factorul cel mai important. Deoarece coeficientul său (0,157008) este mult mai mare decât al celorlalte variabile, orice modificare în X2 (Porozitatea efectivă) va produce o modificare semnificativă în Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)).
- **Exemplu practic:** Dacă X2 (Porozitatea efectivă) crește cu **10 unități**, Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) va crește cu aproximativ **1,57 unități** ( $10 * 0,157008$ ), presupunând că celelalte variabile rămân constante.

### 2. Influența lui X1 (Grosimea stratului acvifer (H) (Coeficient: +0,00264)

- **Tipul influenței:** Pozitivă, dar slabă.
- **Explicație:** Deși contribuie la creșterea lui Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) , impactul său este redus. Coeficientul este mic, de aproximativ 60 de ori mai mic decât cel al lui X2 (Porozitatea efectivă ).
- **Exemplu practic:** Dacă X1 (Grosimea stratului acvifer (H) crește cu **10 unități**, Y Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) va crește cu doar **0,0264 unități** ( $10 * 0,00264$ ).

### 1. Influența lui X3 (Timpul de supraviețuire a poluanților) (Coeficient: -0,00132)

- **Tipul influenței:** Negativă și slabă.
- **Explicație:** Aceasta este singura variabilă care **scade** valoarea lui Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)). Când valoarea lui X3 (Timpul de supraviețuire a poluanților) crește, valoarea lui Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) scade. Influența sa este, totuși, destul de redusă, comparabilă în mărime cu cea a lui X1 (Grosimea stratului acvifer (H) .
- **Exemplu practic:** Dacă X3 (Timpul de supraviețuire a poluanților) crește cu **10 unități**, Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) va **scădea** cu **0,0132 unități** ( $10 * -0,00132$ ).

### 4. Influența lui X4 (Debitului de exploatare) (Coeficient: +0,000731)

- **Tipul influenței:** Pozitivă și foarte slabă.
- **Explicație:** X4 (Debitul de exploatare) are cel mai mic impact pozitiv asupra lui Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)). Contribuția sa la valoarea finală este aproape neglijabilă în comparație cu X2 (Porozitatea efectivă).

- **Exemplu practic:** Dacă X4 (Debitul de exploatare) crește cu **10 unități**, Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) va crește cu doar **0,00731 unități** ( $10 * 0,000731$ ).

### **Rolul Termenului Liber (Intercept: -0,05709)**

Acesta este **punctul de plecare** al valorii Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)). Dacă toate variabilele (X1, X2, X3, X4) ar avea valoarea zero, Y (Raza Zonei de Protecție cu Regim de Restricție (ZPS2)) ar fi egal cu -0,05709.

### **Ierarhia Influenței**

Putem clasifica variabilele în ordinea impactului lor asupra lui Y (de la cel mai puternic la cel mai slab), pe baza valorii absolute a coeficienților:

1. **X2** (Influență pozitivă, **dominantă**), Porozitatea efectivă,
2. **X1** (Influență pozitivă, **slabă**), Grosimea stratului acvifer,
3. **X3** (Influență negativă, **slabă**), Timpul de supraviețuire a poluanților,
4. **X4** (Influență pozitivă, **foarte slabă/marginală**) Debitul de exploatare.

Această analiză este confirmată vizual de graficele de influență pe care le-am generat anterior, unde panta liniei pentru X2 era foarte abruptă, în timp ce pentru celelalte era aproape plată.

În capitolul II am analizat influenței poluanților asupra potențialului geotermal al subsolului.

În zona de analiză a acestei teze de doctorat am analizat poluarea stratului acvifer cu petrol, acest tip de poluare fiind datorat distrugerii rafinăriilor în timpul celui de-al doilea război mondial.

Poluarea unui acvifer cu produse petroliere este un proces complex, care se desfășoară în două etape principale:

- Etapa de migrare a poluantului: Această primă etapă începe de la sursa de poluare. Substanțele petroliere se deplasează în subsol și se acumulează în zona capilară (deasupra pânzei freatice), formând un strat rezidual plutitor.
- Etapa de transfer și poluare chimică: Ulterior, hidrocarburile solubile din petrolul rezidual se dizolvă treptat în apa subterană. Acest transfer generează o poluare chimică, manifestată prin creșterea conținutului de substanțe organice. Poluarea este amplificată și de procesele de biodegradare a substanțelor petroliere reținute în sol.

Aceste două etape fundamentale ale mecanismului de poluare pot fi detaliate în patru faze

distincte:

5. Migrația fazei poluate: Deplasarea fizică a masei de produs petrolier.
6. Schimbul dintre produsul petrolier și apa subterană: Transferul de masă între petrolul imiscibil și apă.
7. Antrenarea și dispersia hidrocarburilor: Răspândirea urmelor de hidrocarburi dizolvate în apa subterană.
8. Evoluția în timp a transferului: Modificarea în timp a ratei de transfer a poluanților în apă.

De asemenea transportul poluanților dizolvați (solubili) în acvifer se realizează prin trei procese principale:

- Advecție: Poluantul este purtat de curentul natural al apei subterane, deplasându-se cu viteza medie a acesteia.
- Difuzie: Transportul cauzat de gradientul de concentrație, prin care poluanții se deplasează din zonele cu concentrație mare spre cele cu concentrație mică.
- Dispersie: Fenomenul de amestec între apa poluată și apa curată, care duce la diluarea soluției și la reducerea concentrației poluantului.

În ceea ce privește transportul poluanților insolubili (cei care formează o fază separată de apă), aceștia sunt clasificați astfel [5]:

- LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquids): Substanțe lichide nemiscibile și mai ușoare decât apa (ex: hidrocarburi petroliere, benzină, kerosen). Acestea plutesc la suprafața apei freactice.
- DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquids): Substanțe nemiscibile și mai dense decât apa (ex: hidrocarburi clorurate, bifenili policlorurați). Acestea traversează stratul acvifer și se acumulează pe roca de bază (strat impermeabil).

Prin aceste mecanisme, în mediul subteran se formează zone contaminate extinse, cunoscute sub denumirea de "pane de poluare".

În acest mod se realizează în mediul subteran așa zise "pene" sau "pungi" de astfel de poluanți -contaminați din țitei (benzen, toluen, etc).

În acest scop am creat un program de calculator care să ofere date privind optimizarea curgerii apei în contextul unei zone de protecție nu înseamnă a face apa să curgă mai repede, ci a modela și înțelege curgerea pentru a minimiza riscul de contaminare.

Practic, "optimizarea" se traduce prin a găsi cele mai sigure amplasamente pentru orice activitate potențial poluantă, asigurându-se că timpul de tranzit al unui poluant până la puț este cât mai lung posibil.

Am constituit un program Python ca un instrument de analiză, care să optimizeze siguranța prin testarea diferitelor scenarii de simulare a traiectoriei apei subterane (liniile de curent) pentru a determina zona de captare a puțului și timpul de parcurs al apei din orice punct către puț.

hidraulic (presiune) mare la una cu potențial mic.

Am folosit ecuația lui Laplace pentru curgerea staționară.

Acest grafic arată liniile de potențial hidraulic (echipotențiale) și vectorii de viteză (săgețile roșii), care indică direcția generală a curgerii apei de la stânga la dreapta.

Ulterior am simulat cum se răspândește o "pană" de poluare de la o sursă.

Am utilizat o ecuație simplă de advecție-dispersie.

Finalul capitolului a concluzionat concentrația de benzen folosind doar parametrii de intrare (timp, distanță etc.), fără a rula modelul fizic (modele AI), acestea fiind:

- **Model 1: Regresie Liniară**

- Performanță foarte slabă ( $R^2$  mic, puncte foarte împrăștiate).
- Acest eșec era de așteptat și este informativ. Procesele fizice de transport al poluanților sunt **puternic non-liniare**. O linie dreaptă este complet inadecvată pentru a descrie relația complexă dintre timp, distanță și concentrație. Modelul servește ca o **bază de referință** care demonstrează necesitatea unor modele mai avansate.

- **Model 2: Random Forest Regressor**

- Performanță excelentă ( $R^2$  foarte mare, punctele sunt aliniate strâns pe linia de predicție perfectă).
- Random Forest excelează aici deoarece nu face presupuneri despre forma relației dintre date. Prin construirea a sute de arbori de decizie, el poate "învăța" și construii cu precizie graficele non-liniare.
- Graficul de importanță a factorilor ne arată că Distanța este cel mai important predictor, urmat de Timp și Concentrație Sursă. Acest lucru este intuitiv și corect din punct de vedere fizic: cât de departe ești de sursă este cel mai critic factor. Acest tip de analiză ajută experții să înțeleagă "formele și direcțiile" contaminării.

- **Model 3: XGBoost Regressor**

- Performanță excelentă, posibil marginal superioară celei de la Random Forest.
- XGBoost este o tehnică mai avansată care construiește arborii secvențial, fiecare corectând erorile celui anterior. Acest proces de "boosting" duce adesea la o acuratețe superioară. Pentru multe probleme de date tabulare, este considerat standardul de aur în termeni de performanță.

- **Model 4: Rețea Neuronală**

- Performanță excelentă.
- **Graficul de Antrenare:** Arată că eroarea modelului (loss) scade constant, ceea ce înseamnă că rețeaua "învață" cu succes din date. Faptul că eroarea pe datele de validare urmează un trend similar cu cea de antrenare sugerează că modelul generalizează bine și nu face "overfitting" (nu memorează datele de antrenament).
- **Graficul de Performanță:** Confirmă că modelul face predicții foarte precise. Rețelele neuronale sunt extrem de puternice în a aproxima orice funcție matematică complexă, făcându-le ideale pentru astfel de probleme fizice. Dezavantajul lor este că sunt mai greu de interpretat (un "black box") și necesită mai multă muncă de pregătire a datelor (ex: scalarea).

Capitolul III face o descriere a poluanților din apele subterane.

Programul de monitorizare a contaminanților pentru selectarea parametrilor reflectă următoarele obiective: pentru a detecta dacă apelor subterane sunt sau nu contaminate în vederea funcționării unui rezultat corect, pentru a stabili dacă concentrațiile elementelor componente chimice specifice sunt în limitele prescrise, și pentru a măsura eficacitatea corectivă a acțiunii. În general, programul de monitorizare a apelor subterane contaminate cu produse petroliere urmărește anumiți compuși care sunt proveniți din aceste produse și care au efect nociv pentru mediul înconjurător și pentru om.

Cantitățile imense de țiței și produse petroliere care ajung în mare, sol și ape subterane produc pagube mari vieții marine și terestre, sănătății umane și resurselor naturale. Caracterizarea neambiguă a evacuărilor de țiței și produse petroliere în probele de mediu contaminate și legarea acestora de sursele cunoscute sunt extrem de importante pentru evaluarea pagubelor aduse mediului, prevederea impactului potențial pe termen lung a evacuărilor de petrol asupra mediului, alegerea răspunsului corespunzător și luarea măsurilor efective de curățare.

În plus, caracterizarea compoziției chimice și identificarea surselor de poluare cu produse petroliere sunt, în multe cazuri, critice pentru rezolvarea disputelor legate de responsabilitate.

Produsele petroliere rafinate sunt fracții derivate în mod obișnuit prin distilarea țițeiului. Datorită diferențelor între caracteristicile țițeiurilor și a variațiilor în procesele de rafinare, produsele petroliere rafinate diferă în compoziția lor.

Astfel, toate țițeiurile și produsele petroliere, în anumită măsură, au compoziții chimice diferite între ele.

Această variabilitate în compoziția chimică are ca rezultat "ampretele" chimice unice pentru fiecare țiței și asigură o bază pentru identificarea sursei evacuărilor de țiței.

Pentru analiza produselor petroliere se utilizează diferite metode standardizate cum ar fi: spectrometria de absorbție moleculară UV-VIS, IR, spectrometria de absorbție atomică, cromatografia de gaze, cromatografia de lichide, etc.

Obiectivul acestui capitol a fost de a identifica produsele petroliere din apele subterane, prin identificarea cantității de toluen din acestea, cu ajutorul spectroscopiei FT-IR, într-un timp cât mai scurt.

Pentru realizarea studiului experimental, am folosit un spectrometru în infraroșu cu transformata Fourier (FT-IR), în care am determinat spectrele următoarelor substanțe poluante: toluenul, benzină ușoară, motorină grea și un amestec de benzină și motorină.

Probele de benzină, motorină și amestecul de benzină și motorină au fost obținute în urma unei extracții ca urmare a unei simulări de poluare a apei.

Experimentul se bazează pe identificarea benzinei și a motorinei în apele subterane, dar și identificarea unui amestec de 50-50% benzină și motorină pe compoziția toluenului, care se regăsește atât în benzine, cât și în motorine.

În lucrarea noastră, am încercat să identificăm produsele petroliere pe baza metodei de spectrometrie de absorbție moleculară în infraroșu cu transformata Fourier, o metodă îmbunătățită a spectrometriei IR.

În vederea analizei efectului poluanților asupra temperaturii apei de zăcământ am studiat un poluant format din 50 mg/l benzină (densitate 770 kg/m<sup>3</sup>) și 75 g/l motorină cu densitate 950 kg/m<sup>3</sup>.

Acest poluant era degradat și a fost amestecat cu apa (113 mg/litru).

Simularea a constat în observarea efectului poluantului asupra temperaturii în timpul extracției din sol.

Soluția formată a fost trecută printr-un strat de pietriș și extrasă cu o pompă cu vacuum.

În urma experimentului am reușit să creez de asemenea o ecuație de simulare a variației temperaturii funcție de cantitatea de poluant extrasa și de ore de extracție.

Această ecuație este de forma

$$Y=10,69646 + 0,020083 X1 -0,00275 X2 \text{ cu } R^2=0,96085$$

Unde:

- Y este Temperatura, C°,
- X1 reprezintă concentrație poluanți, mg/l,
- X2 reprezintă timpul de extracție (în ore).

În urma rezultatelor obținute, putem deduce că în cazul unei poluări necunoscute cu benzină și motorină sau chiar a unui amestec al aceste două produse petroliere al apelor subterane cu produse petroliere, putem identifica tipul de produs petrolier în funcție de concentrația toluenului pe baza spectometriei FT-IR.

Caracterizarea chimică și identificarea surselor de poluare cu produselor petroliere din apele subterane sunt extrem de importante pentru alegerea unui răspuns corespunzător și luarea măsurii efective de curățare.

Capitolul 5 analizează proiectul de modernizare a sistemelor energetice, ce vizează implementarea unui sistem hibrid, modular, pentru generarea de energie regenerabilă destinată utilizatorilor săi.

În urma monitorizării funcționării acestui sistem după un an, am simulat stresul termic indus de către exploatarea apelor din subteran.

Astfel în prima parte am analizat temperatura de ieșire a agentului de încălzire a apei termice din pompa de căldură, funcție de temperatura solului măsurată la preluarea apei și la injectarea apei în foraj și de asemenea funcție de temperatura agentului de intrare în pompa de căldură (a apei din sondă), ecuația de variație a acestei temperaturi a apei de zăcământ, având o eroare destul de mare.

$$y = -7E-09x^6 + 2E-06x^5 - 0,0002x^4 + 0,0092x^3 - 0,2044x^2 + 1,7432x + 6,6505$$
$$R^2 = 0,4396.$$

În scopul analizei eficienței termice a apei extrase din sol am creat o relație numerică care să ne ofere date despre variația temperaturii de ieșire a agentului de încălzire a apei termice din pompa de căldură (Y) , funcție de temperatura solului măsurată la preluarea apei și la

injectarea apei în foraj (X1 și X2) și de asemeni funcție de temperatura agentului de intrare în pompa de căldură (a apei din sondă) (X3).

Ecuția este de forma:

$Y = -51,0293 + 4,42327 X1 - 1,89612 X2 + 1,128339 X3$  cu coeficient de determinare  $R^2 = 0,84865$ .

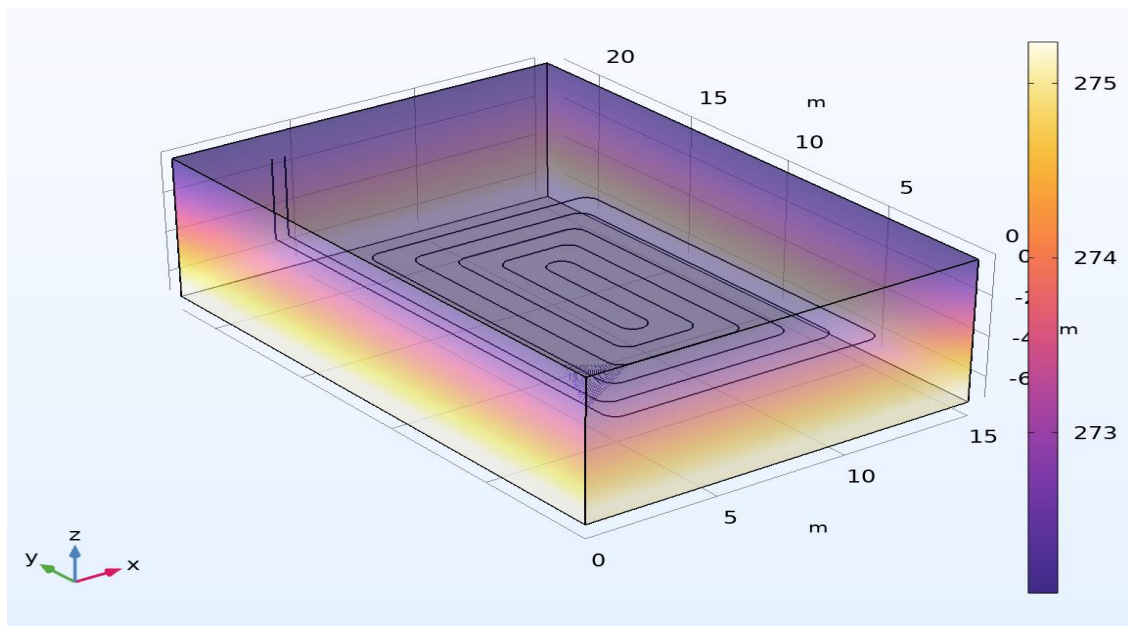
În urma studiului realizat pot concluziona următoarele aspecte despre freaticul termic din zona UPG Ploiești:

- Valoarea medie a temperaturii apei se situează la valoarea de 8,92 °C,
- Valoarea medie a temperaturii subsolului se situează la valoarea de 16,8 °C,
- Pierdere medie a temperaturii subsolului (în urma injectiei apei) este de se situează la valoarea de 6,33 °C,
- Pierdere medie a temperaturii apei (în urma utilizării în pompa de căldură) este de se situează la valoarea de 4,11 °C,

De asemenea am creat și o simulare în COMSOL cu următoarele date de aplicare:

- Diametru conducte -0,04 m,
- Debitul de curgere 0,001 m<sup>3</sup>/s
- Putere pompă 4000 W,
- Gradientul de temperatură 0,5 k/m
- Temperatura minimă a aerului -5 °C.

Variația energie termice la nivelul schimbătorului de căldură fiind:



De asemenea pentru prima oară în literatura am simulat valoarea energiei geotermale extrasă de o sondă și apoi am utilizat datele pentru a genera, a antrena și evalua patru modele diferite de Inteligență Artificială (AI).

Această simulare a plecat de la realizarea unui model numeric care să ne ofere date privind variația puterii geotermale față de adâncimea sondei și tipul rocii prin care curge apa.

Ecuatiile modelului sunt:

Regresie liniară

$$\text{Putere\_kW} = -1.8696 + (0.0748 * \text{Adancime}) + (0.2419 * \text{Debit}) - (1.9598 * \text{TipRoca\_Argilă uscată}) + (1.0953 * \text{TipRoca\_Calcar}) + (3.0403 * \text{TipRoca\_Granit}) + (2.0691 * \text{TipRoca\_Gresie})$$

Regresie Ridge

$$\text{Putere\_kW} = -1.8163 + (0.0748 * \text{Adancime}) + (0.2418 * \text{Debit}) - (1.9844 * \text{TipRoca\_Argilă uscată}) + (1.0332 * \text{TipRoca\_Calcar}) + (2.9529 * \text{TipRoca\_Granit}) + (1.9943 * \text{TipRoca\_Gresie})$$

Teza de doctorat analizează pe lângă termia rocilor și efectul poluanților asupra apelor extrase în scopul utilizării acestora în termie.

### **Caracteristici generale ale apelor subterane**

- **Temperatura estimată:** Deși studiile publice nu specifică o temperatură exactă a apei la o anumită adâncime, o estimare rezonabilă poate fi făcută. La adâncimi de peste 20-30 de metri, temperatura solului și a apei subterane tinde să se stabilizeze la o valoare apropiată de temperatura medie anuală a aerului din localitate. Pentru Ploiești, aceasta este de aproximativ **11-12°C**. Prin urmare, se poate estima că apa din acviferele de medie adâncime (50-150m) are o temperatură constantă în acest interval, fiind ideală pentru utilizarea cu pompe de căldură.
- **Acvifere principale:** Zona Ploiești este bogată în resurse de apă subterană, principalele fronturi de captare pentru alimentarea cu apă potabilă fiind Crângul lui Bot, Ploiești Nord-Vest și Ploiești Nord-Est. Acestea sunt acvifere importante, de adâncime, care confirmă prezența unor volume mari de apă în subteran.
- **Atenționare contaminare:** Unele studii mai vechi menționează că apele freatice (de mică adâncime) din zona de sud și sud-est a municipiului pot fi contaminate cu produse

petroliere. Acesta este un factor important de luat în considerare și necesită o analiză a calității apei înainte de a proiecta un sistem geotermal deschis.

### **Direcții de cercetare**

În viitor consider că s-ar putea accentua cercetările în:

- a.influența curgerii apelor termale cu particule contaminante prin conducte,
- b.efectul particulelor contaminante din apele termale asupra capacității energetice a acestora,
- c.analiza capacității energetice a apelor subterane din România.

## BIBLIOGRAFIE

1. Allan, M. L. and Kavanaugh, S. P., –Thermal conductivity of cementitious grouts and impact on heat exchanger length design for ground source heat pumps, International Journal of HVAC&R Research, Vol. 5, (2), 1999;
2. Allan, M. L. and Philippacopoulos, A. J., –Thermalyl Conductive Cementitious Grouts for Geothermal Heat Pumps, FY 1998 Progress Report, BNL 66103, 1998
3. Albulescu, M. - Mecanica fluidelor, Editura UPG, Ploiești, 2024
4. Bejan, A. - Entropy generation through heat and fluid flow, John Wiley & Sons Inc., New York, 1992
5. Bini, R., Manciana, E., - Organic Rankine Cycle Turbogenerators for Combined Heat and Power Production from Biomass. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Munich Discussion Meeting 1996, ZAE Bayern (ed.), Munich, Germany, 1996
6. Claesson, J. And P. Eskilson – Conductive Heat Extraction to a Deep Borehole, Thermal Analysis and Dimensioning Rules. Energy 13/6, 2024
7. Feidt, M. - Thermodynamique et Optimisation Energetique de Systemes et Procedes, Technique et Documentation (Lavoisier), Paris, 2024
8. Incropera, F.P., David P. DeWitt - Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Editura John Wiley & Sons, New York, 1990
9. Ionescu, D.Gh. - Lecții de termomecanica fluidelor vâscoase, Editura Tehnică, București, 1997
10. Lamb, H. - Hydrodynamisc, ed. a 6-a. Cambridge University Press, 1992 (Dover Publications, New York, 1925)
11. Marinescu, M., Băran, M.N., Radcenco, V. - Termodinamică tehnică, MatrixRom, București, 1998
12. Neacșu, S. - Termodinamica sistemelor tehnice, Editura Universității din Ploiești, 2023
13. Radcenco, V. - Termodinamica generalizată, Editura Tehnică, București, 1994
14. Rybach, L., Sanner, B. - Ground-Source heat pump systems the European experience, Institute of Applied Geosciences, Giessen, Germany
15. Sanner, B., – Earth hreat Pumps and Underground Thermal Energy Storage în Germany, Proc. World Geothermal Congress 1995:2167-2172, 1995
16. Sanner, B., –Prospects for Ground-Source Heat Pumps în Europe, Newsletter IEA Heat Pump Centre, 17/1, 1999
17. Sanner, B. - Shallow Geothermal Energy Liebig University, Giessen, Germany
18. Vidal, J. - Thermodynamique - Methodes appliquees au raffinage et au genie chimique, Edition Techniq, Paris, 1993

19. \*\*\*Colecția de standarde STAS pentru materiale, semifabricate, flanșe, schimbătoare de căldură, suporturi și pentru recipiente;
20. Neacșu, S., Trifan, C., Albulescu, M., Eparu, C., Ionescu, E.M. - Analysis on energy available in soil to be used for heating dwelling places, CNEI, Bacău, 2005
21. Neacșu, S., Trifan, C., Albulescu, M. - Răspunsul termic al solului în cazul utilizării pompelor de căldură Conferința națională de termotehnică cu participare internațională, Ediția XVI-a, Vol 2, Ploiești, 2007,
22. Bergles, A.E., Rohsenow, W.M., 1964. The determination of forced-convection surface-boiling heat transfer. *ASME J. Heat Transf.* 1, 365–372.
23. Collier, J.G., Thome, J.R., 1996. Convective Boiling and Condensation, third ed. In: Oxford Engineering Science Series OUP.
24. Davis, E.J., Anderson, G.H., 1966. The incipience of nucleate boiling in forced convection flow. *AIChE J.* 12 (4), 774–780.
25. Dong, L., Lee, Poh-Seng, Suresh, V.G., 2005. Prediction of the onset of nucleate boiling in microchannel flow. *Int. J. Heat Mass Transf.* 48, 5134–5149.
26. Han, C.Y., Griffith, P., 1965. The mechanism of heat transfer in nucleate pool boiling– part I. *Int. J. Heat Mass Transf.* 8, 887–904.
27. Hsu, Y.Y., 1962. On the size range of active nucleation cavities on a heating surface. *ASME J. Heat Transf.* 84, 207–216.
28. Marsh, W.J., Mudawar, I., 1989. Predicting the onset of nucleate boiling in wavy freefalling turbulent liquid films. *Int. J. Heat Mass Transf.* 32 (2), 361–378.
29. Sato, T., Matsumara, H., 1964. On the conditions of incipient subcooled boiling with forced convection. *Bull. JSME* 7 (26), 392–398.
30. Situ, Rong, Hibiki, Takashi, Ishii, Mamoru, Mori, Michitsugu, 2005. Bubble lift-off size in forced convective subcooled boiling flow. *Int. J. Heat Mass Transf.*
31. Situ, Rong, Mi, Ye, Ishii, Mamoru, Mori, Michitsugu, 2004. Photographic study of bubble behaviors in forced convection subcooled boiling. *Int. J. Heat Mass Transf.*
32. Sudo, Y., Miyata, K., Ikawa, H., Kaminaga, M., 1986. Experimental study of incipient nucleate boiling in narrow vertical rectangular channel simulating sub-channel of upgraded JRR-3. *J. Nucl. Sci. Technol.* 23, 73–82.
33. Yin, S.T., Abdelmessih, A.H., 1974. Measurements of Liquid Superheat, Hysteresis Effects and Incipient Boiling Oscillations of Freon-11 in Forced Convection Vertical Flow. University of Toronto. Mech. Eng. Tech. Pub. Ser., TP-7401.
34. Moller-Steinhagen H. Cooling-water fouling in heat exchangers. *Adv Heat Transfer* 1999;33:415–96.
35. Dooley RB, Ball M, Bursik A, Rziha M, Svoboda R. Water chemistry in commercial water–steam cycles. *Aqueous Syst Elev Temp Press* 2004:677–716.
36. Richard P, Beach WM. Apparatus and method for filtering use engine coolant. *J Cleaner Prod* 1997;5:252.
37. Selim MYE, Helali AB, Elfeky S. Enhancement of coolant side heat transfer in water

- cooled engines by using finned cylinder heads. In: Proceedings of the ASME ICE division fall conference, Ottawa, Canada; 2005.
38. Abou-Ziyan HZ. Forced convection and subcooled flow boiling heat transfer in asymmetrically heated ducts of T-section. *Energy Convers Manage* 2004;45:1043–65.
  39. Huang KD, Tzeng S, Ma W. Effects of anti-freeze concentration in the engine coolant on the cavitation temperature of a water pump. *Appl Energy* 2004;79:261–73.
  40. Song G, St. John D. Corrosion behavior of magnesium in ethylene glycol. *Corros Sci* 2004;46:1381–99.
  41. Mohamed MAM, Osman MA, Potter TL, Levin RE. Lead and cadmium in Nile river water and finished drinking water in greater Cairo, Egypt. *Environ Int* 1998;24:767–72.
  42. Selim MYE, Helali AHB. Thermal evaluation of some liquid coolants under real engine conditions. In: ASME international spring conference, ICED, Texas, San Antonio, USA; 2000.
  43. French CCJ. Problems arising from the water cooling of engine components. *Inst Mech Eng* 1969–1970;184:507–30.
  44. Alcock JF. Thermal loading of diesel engines. *Trans Inst Eng* 1965;77. [13] Cheong SKA. The measurements of low concentration of dissolved gas in water. M.Sc. Thesis, University of Toronto; 1968.
  45. Ahmed TA. Effect of jet characteristics on heat transfer in water impingement-cooled cylinder heads. M.Sc. Thesis, University of Helwan, Faculty of Engineering, Cairo, Egypt; 2009.
  46. Addoms J. Heat transfer at high rates to water boiling outside cylinders. Cambridge, Mass: Department of Chemical Engineering, MIT; 1948.
  47. Moffat R. Describing the uncertainties in experimental results. *Experimental thermal and fluid science*. NY: Elsevier Science Pub. Co. Inc.; 1988.
  48. Sanz S, Gimenez M, Olarte C, Lomas C, Portu J. Effectiveness of chlorine washing disinfection and effects on the appearance of artichoke and borage. *J Appl Microbiol* 2002;93:986–93.
  49. . Purgheľ, M. Stoicescu, *Technical Solutions Used for the Transformation of Geothermal Energy into Electrical Energy* Artificial intelligence research – The new paradigm in mines, oil and gas abstract of EDUDOC, 2025 SYMPOSION, Editura Universităţii Petrol-Gaze din Ploieşti, 2025, ISBN 978-973-719-925-6, indexata in [https://www.academia.edu/129644210/Artificial\\_Intelligence\\_Research\\_The\\_New\\_Paradigm\\_in\\_Mines\\_Oil\\_and\\_Gas](https://www.academia.edu/129644210/Artificial_Intelligence_Research_The_New_Paradigm_in_Mines_Oil_and_Gas), și google scholar [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=qG0fgdgAAAAJ&sortby=pubdate&citation\\_for\\_view=qG0fgdgAAAAJ:08ZZubdj9fEC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=qG0fgdgAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=qG0fgdgAAAAJ:08ZZubdj9fEC), pp. 44,
  50. Purgheľ, M. Stoicescu, *Analysis of the Thermal Comfort Improvement Project at the Petroleum and Gas University of Ploieşti* Artificial intelligence research – The new paradigm in mines, oil and gas abstract of EDUDOC, 2025 SYMPOSION, Editura

Universității Petrol-Gaze din Ploiești, 2025, ISBN 978-973-719-925-6, indexata in [https://www.academia.edu/129644210/Artificial\\_Intelligence\\_Research\\_The\\_New\\_Paradigm\\_in\\_Mines\\_Oil\\_and\\_Gas](https://www.academia.edu/129644210/Artificial_Intelligence_Research_The_New_Paradigm_in_Mines_Oil_and_Gas), și google scholar [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=qG0fgdgAAAAJ&sortby=pubdate&citation\\_for\\_view=qG0fgdgAAAAJ:08ZZubdj9fEC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=qG0fgdgAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=qG0fgdgAAAAJ:08ZZubdj9fEC), pp.45,

51. Cirjan D., Purgheș I., Stoicescu M. Chis T. **An energy efficiency model based on heat pumps of a public building with conventional heating**, 4 th INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS, June 21-22, 2025 Istanbul, <https://www.isracademy.org/>, IsrAcademy Publishing ISBN: 978-625-95570-7-6 (Abstract book), 978-625-95570-8-3 (Proceedings Books), pp. 166-171,
  52. Cirjan D., Purgheș I., Stoicescu M. Chis T. **An treatment and recovery of petroleum products extracted from polluted water**, 4 th INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS, June 21-22, 2025 Istanbul, <https://www.isracademy.org/> IsrAcademy Publishing ISBN: 978-625-95570-7-6 (Abstract book), 978-625-95570-8-3 (Proceedings Books), pp. 166-171, pp. 172-178,
  53. \*\*\*PT C4/1 C/2-2000, Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția, instalarea, exploatarea, repararea și verificarea recipientelor metalice stabile sub presiune
-