

## Інструмент AI для оцінки літію: огляд, технології та цінність

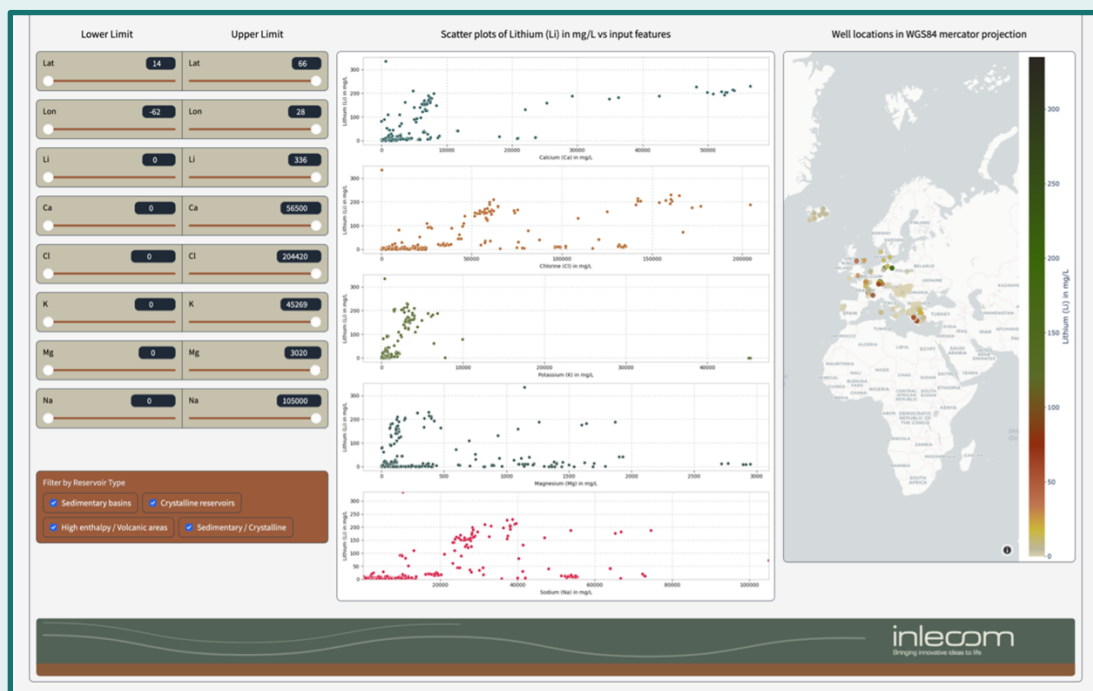
**Інструмент AI для оцінки літію**, розроблений компанією INLECOM у рамках проєкту Horizon Europe CRM-Geothermal, представляє інноваційний підхід до використання штучного інтелекту (AI) для оптимізації розвідки літію в геотермальних ресурсах. У час, коли світовий попит на літій швидко зростає через його важливу роль у технологіях акумуляторних батарей та зберіганні відновлюваної енергії, цей інструмент пропонує унікальні рішення для підтримки стійких ланцюгів постачання сировини.

### Функціональний огляд

Інструмент CRM AI Tool складається з двох основних функцій, призначених для задоволення різних аналітичних потреб:

#### 1. Важливість та інтерпретованість ознак

У цьому режимі користувачі можуть вводити власні зразки даних або обирати наявні записи з набору даних CRM. Інструмент оцінює концентрацію літію та надає розширений інтерфейс інтерпретації результатів. **Графік Waterfall Shapley** демонструє, як кожен елемент підвищує або знижує прогнозований рівень літію відносно середнього значення в наборі даних. Користувачі можуть простежити, як дерево рішень проходило через поділи ознак, візуалізуючи поступове уточнення моделі. Крім того, точкові діаграми ілюструють взаємозв'язки між літієм і концентраціями окремих елементів, а геопросторова карта показує розташування зразка в ширшому контексті резервуару. Така комбінація дає змогу користувачам перевіряти прогнози, знаходити аналогії в даних та виявляти потенційні викиди.



**Рисунок 1: Інтерпретованість у кластерах даних — повзунки, фільтр резервуарів, діаграми розсіювання та карта.**



## Інструмент AI для оцінки літію: огляд, технології та цінність

### 2. Взаємозв'язки між ознаками та географічні закономірності

Друга функціональність дає змогу виконувати дослідницький аналіз даних для всього набору даних або його відфільтрованих підмножин. Користувачі можуть задавати діапазони значень для вхідних ознак, обирати певні типи резервуарів і миттєво перенавчати модель дерева рішень, адаптовану до цих обмежень. Отримані графіки **Beeswarm Shapley** та показники продуктивності допомагають оцінити, як змінюється важливість змінних у різних геологічних чи хімічних контекстах. Цей режим особливо корисний для виявлення тенденцій, таких як регіональні «гарячі точки» збагачення літієм або кореляції, характерні для окремих типів резервуарів.

Цей інструмент виводить INLECOM на передову позицію в галузі розвідки корисних копалин за допомогою штучного інтелекту. Його висока цінність полягає в трьох основних перевагах для цільової аудиторії:

- **Підвищення ефективності розвідки:** Завдяки впровадженню інтерпретації геохімічних даних у прозору та зручну AI-платформу, інструмент скорочує час і ресурси, необхідні для оцінки літієвого потенціалу геотермальних свердловин.
- **Практичні аналітичні висновки для ухвалення рішень:** Завдяки зрозумілим і пояснюваним результатам моделі, інструмент дозволяє зацікавленим сторонам обґрунтовувати інвестиційні та політичні рішення на основі чітких доказів геохімічних чинників, що впливають на наявність літію.
- **Сталий розвиток і стратегічна автономія:** У міру того, як Європа посилює зусилля щодо забезпечення сталого постачання критично важливих сировинних матеріалів, це рішення на основі штучного інтелекту підтримує регіональну самодостатність шляхом оптимізації внутрішніх геотермальних ресурсів.

### Цінність штучного інтелекту в розвідці літію

Впровадження штучного інтелекту в геотермальну розвідку літію забезпечує трансформаційні переваги порівняно з традиційними аналітичними підходами. Тоді як традиційні статистичні моделі обмежені припущеннями про лінійність і однорідність, методи штучного інтелекту, зокрема підходи на основі деревних ансамблів, можуть природним чином фіксувати нелінійні залежності, складні взаємодії між змінними та приховані закономірності у великих наборах даних. Ця здатність моделювати тонкі і часто неінтуїтивні взаємозв'язки має вирішальне значення в геотермальних системах, де концентрації елементів регулюються взаємопов'язаними геологічними, хімічними та тепловими процесами.

Окрім точності прогнозування, ШІ забезпечує безпрецедентну масштабованість: одну і ту ж модель можна перенавчити або налаштувати для роботи з новими джерелами даних, розширеними наборами функцій або різними типами резервуарів. Ця адаптивність гарантує, що в міру розвідки нових геотермальних свердловин і появи нових вимірювань інструмент CRM AI Tool залишатиметься актуальним і розвиватиметься.

Не менш важливим є акцент на пояснюваності, яка перетворює ШІ з «чорного ящика» на прозору систему підтримки прийняття рішень. Кількісно оцінюючи внесок кожної функції в прогноз, інструмент сприяє довірі серед зацікавлених сторін і підтримує обґрунтовані рішення щодо інвестицій у розвідку та управління ресурсами. У регуляторному або комерційному контексті така прозорість стає все більш важливою.



## Інструмент AI для оцінки літію: огляд, технології та цінність

### Технічні розробки

Розробка інструменту була структурована за допомогою комплексного процесу, що поєднував **геологічну експертизу, науку про дані та методи машинного навчання**, що піддаються поясненню. З самого початку INLECOM поставив собі за мету вирішити ключове завдання: зрозуміти складні і часто нелінійні взаємозв'язки між розчиненими елементами в геотермальних рідинах і концентраціями літію. Початковий етап передбачав вдосконалення та очищення великих наборів геотермальних даних. Зокрема, **набір даних REFLECT** був перетворений на оновлену геотермальну базу даних CRM. Цей крок забезпечив міцну основу для розробки моделі штучного інтелекту шляхом виправлення невідповідностей, таких як неправильно розміщені десяткові значення, помилкові або відсутні координати та неповні записи. **Дані інженерії** відіграли ключову роль у підготовці набору даних для поглибленого аналізу. Команда розробила **спеціальну методологію** для виявлення винятків та доповнення даних. Наприклад, у випадках, коли окремі свердловини мали обмежену кількість зразків, створювалися синтетичні зразки для забезпечення збалансованого представлення всіх свердловин, що мінімізувало упередженість у навчанні моделі. Не менш важливою була **стратегія імпутації**, яка зберігала варіативність свердловин, заповнюючи прогалини в даних без спотворення базових розподілів.

Після всебічного статистичного дослідження було встановлено, що традиційні лінійні моделі є недостатніми для відображення складних залежностей між такими елементами, як магній (Mg), калій (K), натрій (Na), кальцій (Ca) та хлор (Cl). В результаті команда прийняла рішення про використання **регресії на основі дерева рішень** — підходу машинного навчання, який добре підходить для моделювання нелінійних взаємозв'язків і забезпечує прозору інтерпретацію. Модель дерева рішень продемонструвала високу ефективність прогнозування з середньоквадратичною похибкою (RMSE) 9,74 мг/л, що підкреслює її надійність в оцінці концентрацій літію на основі багатовимірних даних про елементи.

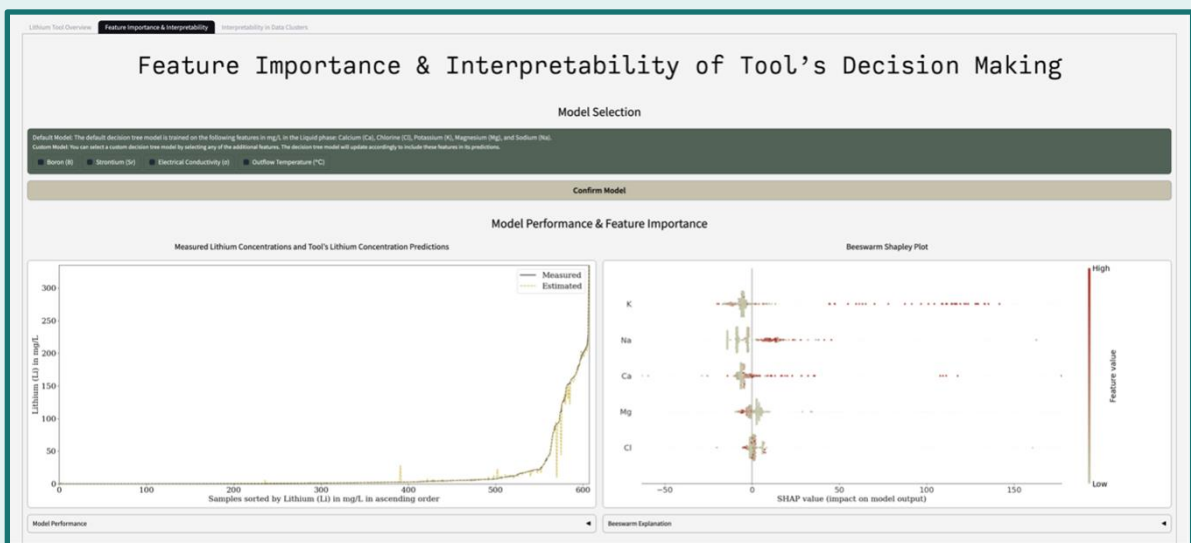


Рисунок 2: Вибір моделі, ефективність моделі та важливість ознак.



## Інструмент AI для оцінки літію: огляд, технології та цінність

Відмінною рисою CRM AI Tool є його орієнтація на **пояснюваний штучний інтелект**. Визнаючи, що кінцеві користувачі — геологи, менеджери ресурсів та політики — потребують не тільки прогнозів, але й чіткості щодо того, як ці прогнози отримуються, проект інтегрував **значення Shapley** для інтерпретації результатів моделювання. **Значення Shapley** розкладають кожен прогноз, щоб показати індивідуальний внесок кожної вхідної змінної, пропонуючи практичні відомості про те, які елементарні особливості сприяють збагаченню літієм у конкретних геотермальних умовах. Наприклад, калій виявився найвпливовішим предиктором у багатьох сценаріях, однак його вплив був нелінійним і залежним від контексту, що підкреслює складність геохімії геотермальних систем.

Відгуки, зібрані від партнерів консорціуму за допомогою структурованих анкет, були використані для точного налаштування інтерфейсу та аналітичних можливостей інструменту, забезпечуючи відповідність реальним потребам. Остаточна версія включає вичерпну документацію та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, доступний як для технічних, так і для нетехнічних користувачів.

Підсумовуючи, можна сказати, що інструмент **Lithium Estimation AI Tool** є конкретним прикладом того, як штучний інтелект та методики, засновані на даних, можуть трансформувати розвідку критично важливих сировинних ресурсів, поєднуючи наукову строгість із практичною корисністю. Це демонструє, як цифрові рішення можуть допомогти Європі та світовій спільноті просунутися до більш сталого, стійкого та стратегічно автономного енергетичного майбутнього.

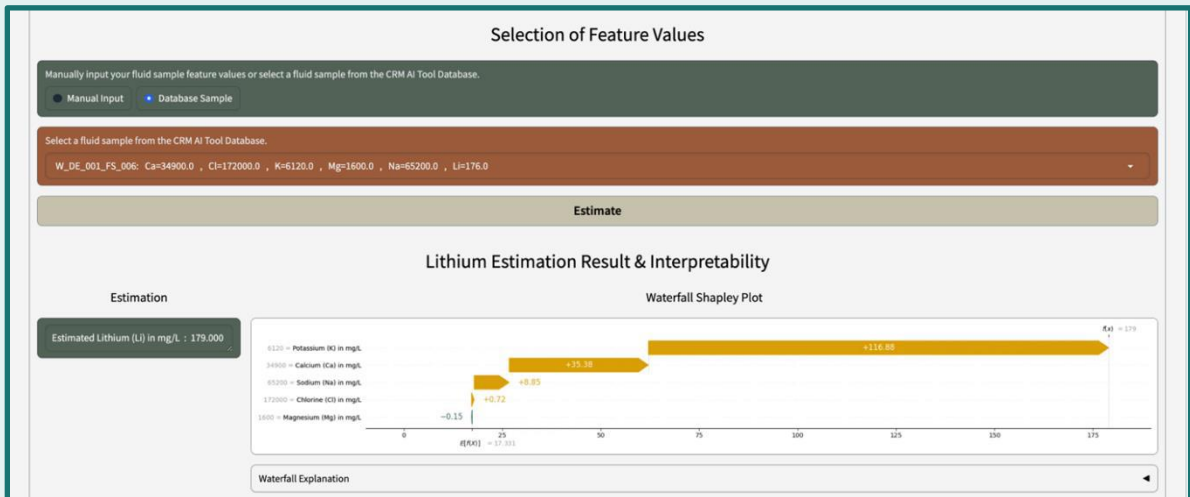


Рисунок 3: Оцінка літію та інтерпретація результатів.

Доступ до інструменту ШІ: <https://crm.inlecom.eu/>

### Контактні особи:

**Konstantinos Loupos** - директор з досліджень і розробок, INLECOM INNOVATION  
[Konstantinos.loupos@inlecomsystems.com](mailto:Konstantinos.loupos@inlecomsystems.com)

**Stathis Antoniou** - керівник відділу ШІ, INLECOM INNOVATION  
[Stathis.antoniou@inlecomsystems.com](mailto:Stathis.antoniou@inlecomsystems.com)

