

# UNIwersYTET GDAŃSKI

WYDZIAŁ CHEMII

KATEDRA TECHNOLOGII ŚRODOWISKA



**ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE REMEDIACJI GLEB**

**REMEDIACJA GLEB SKAŻONYCH TOLUENEM METODĄ NAPOWIERZANIA  
GRUNTU**

## **1. WPROWADZENIE**

Problem zanieczyszczenia gleb substancjami szkodliwymi dotyczy przede wszystkim obszarów uprzemysłowionych, jednak w niektórych rejonach, w sąsiedztwie dawnych lub obecnych źródeł emisji, gleby wykazują niekiedy znaczny stopień zanieczyszczenia.

Zanieczyszczenia (i) organiczne i (ii) nieorganiczne w glebach stanowić mogą potencjalne źródło zagrożenia dla roślin oraz dla wód podziemnych, a w konsekwencji – mogą być włączone do łańcucha pokarmowego. Pobieranie pierwiastków śladowych z zanieczyszczonych gleb przez rośliny przekracza często ich zapotrzebowanie fizjologiczne, co powoduje, że nadmiar tych pierwiastków w glebach może działać fitotoksycznie.

Do substancji zanieczyszczających, których stężenie przekraczają standardy jakości gleby zalicza się głównie:

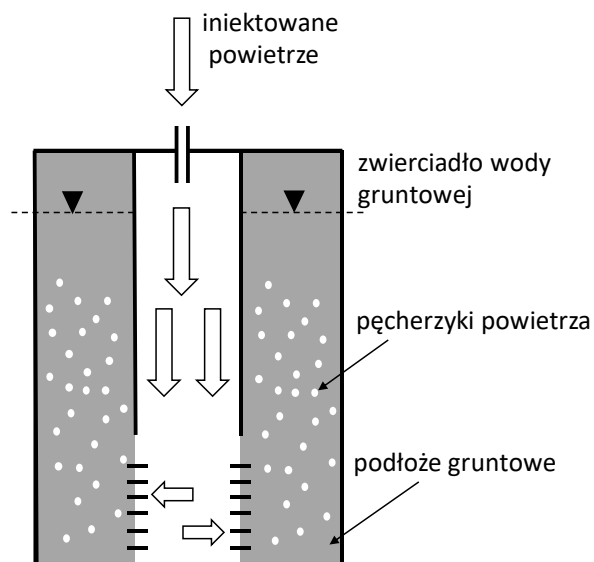
- węglowodory alifatyczne;
- aromatyczne węglowodory jednopierścieniowe (benzen i jego pochodne: toluen, ksyleny i inne);
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA);
- chlorowcopochodne węglodorów alifatycznych, zawierające w cząsteczce jeden lub więcej atomów chloru, rzadziej fluoru, bromu i jodu;
- polichlorowane bifenyle (PCB);
- dioksyne i furany.

## **2. CHARAKTERYSTYKA TOLUENU**

Toluen (metylobenzen) – to organiczny związek chemiczny z grupy węglodorów aromatycznych, stosowany jako rozpuszczalnik organiczny. Odkrywcą toluenu jest polski chemik Filip Walter. Toluen jest bezbarwną cieczą o przyjemnym, intensywnym zapachu. Nie miesza się z wodą, jest natomiast mieszalny z większością rozpuszczalników organicznych. Toluen jest substancją łatwopalną. Jako surowiec i rozpuszczalnik wykorzystywany jest w wielu dziedzinach przemysłu organicznego, farmaceutycznego, tworzyw sztucznych do produkcji materiałów wybuchowych, barwników, detergentów i perfum oraz jako składnik wysokooktanowych paliw lotniczych. Stosowany także do produkcji żelów, sprayów i farb do włosów oraz lakierów do paznokci.

### 3. NAPOWIERZANIE GRUNTU NAWODNIONEGO

Metoda napowietrzania gruntu nawodnionego polega na wprowadzeniu poniżej zwierciadła wody gruntowej powietrza pod zwiększonym ciśnieniem. W nowych rozwiązaniach technologicznych powietrze jest wtłaczane pod wyższym ciśnieniem usuwając słup wody z wnętrza studni (Rysunek 1).



**Rysunek 1.** Schemat technologii iniekcji powietrza do nawodnionego zanieczyszczonego podłoża gruntowego

Dzięki temu pęcherzyki powietrza przenikają bezpośrednio do zanieczyszczonego nawodnionego podłoża gruntowego i kontaktują się bezpośrednio ze szkieletem gruntowym, zwiększając tym samym efektywność procesu oczyszczania. Zalety oraz ograniczenia tej technologii przedstawiono w Tabeli 1.

**Tabela 1** Zalety oraz wady ograniczenia metody napowietrzania gruntu nawodnionego

| Zalety                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Wady/ograniczenia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mała inwazyjność w stosunku do środowiska naturalnego</li> <li>2. Technologia stosunkowo efektywna (czas oczyszczania może trwać od 1 do 3 lat)</li> <li>3. Prosta technologia i niewielkie wymogi sprzętowe</li> <li>4. Niższe koszty remediacji w porównaniu z innymi technologiami</li> <li>5. Nie wymaga wydobywania, usuwania, oczyszczania czy magazynowania wód gruntowych ze strefy zanieczyszczonej</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Niejednorodny przepływ powietrza przez strefę saturacji może być przyczyną niekontrolowanego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w środowisku</li> <li>2. Specyfikacja budowy geologicznej (np. występowanie poziomej warstwy nieprzepuszczalnej lub podłoża uwarstwionego o zróżnicowanej wodoprzepuszczalności) może być przyczyną zmniejszenia efektywności lub rozprzestrzeniania zanieczyszczeń</li> </ol> |

|                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>6. Możliwe jest usuwanie szerokiej gamy zanieczyszczeń zarówno niemieszalnych z wodą, jak i rozpuszczalnych</p> <p>7. Może być połączona z inną technologią np. ekstrakcją próżniową lub bioremediacją, w celu zwiększenia efektywności</p> | <p>3. Studnie iniecyjne muszą być projektowane indywidualnie, z uwzględnieniem specyfikacji miejsca poddawanego remediacji</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Bardzo istotnym parametrem warunkującym prawidłowe zajście procesu jest optymalne ciśnienie wtłaczanego powietrza. Jeśli jest zbyt niskie, to nie będzie w stanie dotrzeć do lustra wód podziemnych. Jeśli natomiast ciśnienie będzie zbyt wysokie, to plama zanieczyszczeń może zostać przetransportowana na obszar wcześniej niezanieczyszczony. Ciśnienie, które jest niezbędne do wtłaczania powietrza do lustra wód podziemnych, jest sumą ciśnienia hydrostatycznego w punkcie iniekcji, tarcia wynikającego z obecności studni iniecyjnej oraz ciśnienia kapilarnego, ze względu na istnienie powierzchni międzyfazowej dwóch płynów wewnątrz medium porowatego (szkielet gleby). Zwykle wymagane jest ciśnienie około 9850 Pa na 1 m słupa wody w punkcie iniekcji.

Efektywność procesów napowietrzania gruntu nawodnionego zależy od kilku procesów zachodzących podczas przemieszczenia się pęcherzyków powietrza na powierzchnię. Mechanizmy mogą zostać zakwalifikowane do trzech kategorii: transfer masy, mechanizm transformacji masy oraz transportu masy. Parametry/Zjawiska wpływające na efektywność procesu usuwania zanieczyszczeń podczas napowietrzania gruntu przedstawiono w Tabeli 2.

**Tabela 2** Parametry/Zjawiska wpływające na efektywność procesu usuwania zanieczyszczeń podczas transportu pęcherzyków powietrza przez słup zanieczyszczonej wody oraz szkielet gruntowy

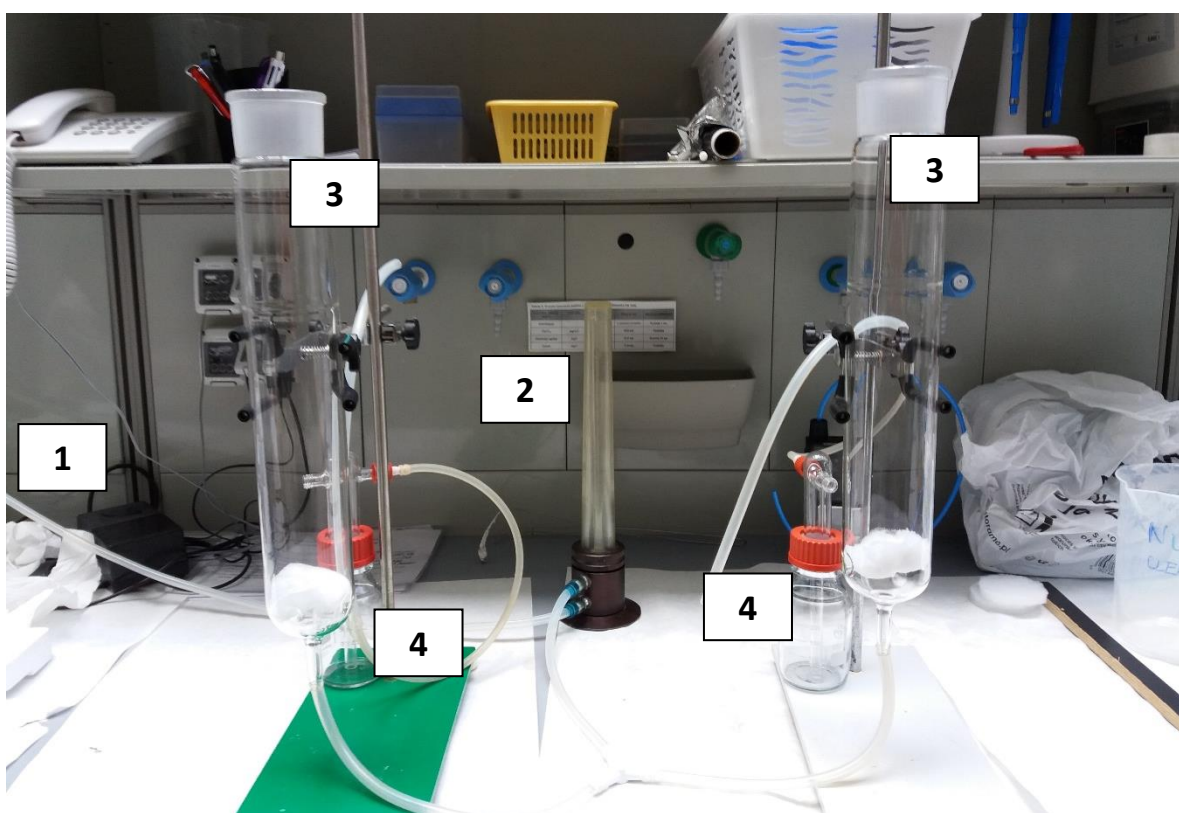
| Typ mechanizmu | Parametry/Zjawiska                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transfer mas   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lotność</li> <li>• Rozpuszczalność</li> <li>• Adsorpcja/desorpcja</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          |
| Transformacja  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodegradacja</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Transport      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adwekcja i dyspersja (adwekcja definiowana jako transport lub ruch przez błądź cieczy w powietrzu albo w wodzie w odpowiedzi na gradient ciśnienia)</li> <li>• Dyfuzja (definiowana jako migracja zanieczyszczeń ze strefy o wysokim stężeniu do strefy o niskim stężeniu)</li> </ul> |

## CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem ćwiczenia jest: (1) zaznajomienie z metodą napowietrzania gruntu skażonego toluenem oraz (2) sprawdzenie parametrów prowadzenia procesu na efektywność usuwania toluenu z gruntu.

## WYKONANIE ĆWICZENIA

Zdjęcie stanowiska pomiarowego do wykonania eksperymentów zostało przedstawione na Rysunku 2. W skład stanowiska pomiarowego wchodzi: źródło powietrza (1), rotametr do regulacji przepływu powietrza (2), reaktor z matą filtracyjną (3), płuczka odbierająca z wodą (4).



Rysunek 2. Zdjęcie stanowiska pomiarowego do napowietrzania gruntu skażonego toluenem

**Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów należy:**(i) przygotować glebę skażoną toluenem (odmierzyć 1 litr gleby, a następnie dodać 400  $\mu\text{L}$  toluenu – dobrze wymieszać, czynności wykonywać pod wyciągiem), (ii) przenieść przygotowaną glebę do reaktora (wypełnić do kreski około 20 cm), a następnie zamknąć reaktor i podłączyć do płuczki odbierającej (uprzednio napełniając wodą).

**Pomiar:** odkręcamy zawór (1), który umożliwia przepływ powietrza przez układ, na rotametrze (2) ustawiamy wartość 80  $\text{dm}^3/\text{h}$ . Po 2 minutach, za pomocą miernika odczytujemy wyjściowe stężenie toluenu (czas równowagi). Doświadczenie prowadzimy przez 10 minut, stężenie toluenu mierzymy w odstępach 2 minut.

**Wykonanie pozostałych eksperymentów przy zmiennych parametrach:**

1. Szybkość przepływu powietrza przez reaktor: 40, 120 dm<sup>3</sup>/h (wysokość złoża: do kreski),
2. Wysokość złoża (gleby skażonej toluenem) dwa razy mniejsza (około 10 cm) przy szybkości przepływu powietrza 80 dm<sup>3</sup>/h.
3. Dodatek wody: do skażonej gleby dodać 20 ml wody (szybkość przepływu powietrza: 80 dm<sup>3</sup>/h, wysokość złoża: do kreski, 20 cm).

**Sprawozdanie:** w ramach sprawozdania należy odpowiedzieć na następujące pytania:

1. Jakie parametry mają wpływ na efektywność prowadzenia procesu (odpowieź na podstawie uzyskanych wyników oraz dostępnej literatury)?
2. Uzyskane na zajęciach wyniki przedstaw w tabeli, a następnie przeprowadź dyskusję wyników.
3. Wymień i krótko opisz 5 katastrof ekologicznych związanych ze skażeniem gleby związkami chemicznymi. Jakiego kroki naprawcze zastosowano?
4. Jak długo należy prowadzić napowietrzanie gleby skażonej toluenem w następującym przypadku: do gleby w wyniku wypadku cysterny przewożącej toluen przedostało się 100 litrów toluenu o stężeniu 99,9%, obszar skażony (9 m<sup>2</sup>, na głębokość 3 m) napowietrzano pod zwiększonym ciśnieniem. Szybkość usuwania toluenu z gleby wynosiła 500 ppm/h.

- WZÓR sprawozdania –

Grupa .....

Data.....

.....

.....

(Imię i Nazwisko)

**Zaawansowane Technologie Remediacji Środowiska – Sprawozdanie z ćwiczenia**  
**REMEDIACJA GLEB SKAŻONYCH TOLUENEM METODĄ NAPOWIETRZANIA GRUNTU**

**Cel ćwiczenia:**

**Krótki opis przebiegu doświadczenia:**

**Obliczenia:**

**Tabela 1** Zestawienie wyników dla doświadczenia nr 1 (warunki procesu: woda bez dodatku wody, szybkość przepływu 80 dm<sup>3</sup>/h, wysokość złoża teoretyczna ok. 20 cm)

| Czas [min]     | Stężenie Toluenu [ppm] | Szybkość przepływu [dm <sup>3</sup> /h] | Wysokość złoża [cm] |
|----------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| czas równowagi |                        | 80                                      |                     |
| 2              |                        | 80                                      |                     |
| 4              |                        | 80                                      |                     |
| 6              |                        | 80                                      |                     |
| 8              |                        | 80                                      |                     |
| 10             |                        | 80                                      |                     |

**Tabela 2** Zestawienie wyników dla doświadczenia nr 2 (warunki procesu: gleba bez dodatku wody, szybkość przepływu 40 dm<sup>3</sup>/h, wysokość złoża teoretyczna ok. 20 cm)

| Czas [min]     | Stężenie Toluenu [ppm] | Szybkość przepływu [dm <sup>3</sup> /h] | Wysokość złoża [cm] |
|----------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| czas równowagi |                        | 40                                      |                     |
| 2              |                        | 40                                      |                     |
| 4              |                        | 40                                      |                     |
| 6              |                        | 40                                      |                     |
| 8              |                        | 40                                      |                     |
| 10             |                        | 40                                      |                     |

**Tabela 3** Zestawienie wyników dla doświadczenia nr 3 (warunki procesu: gleba bez dodatku wody, szybkość przepływu 120 dm<sup>3</sup>/h, wysokość złoża teoretyczna ok. 20 cm)

| Czas [min]     | Stężenie Toluenu [ppm] | Szybkość przepływu [dm <sup>3</sup> /h] | Wysokość złoża [cm] |
|----------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| czas równowagi |                        | 120                                     |                     |
| 2              |                        | 120                                     |                     |
| 4              |                        | 120                                     |                     |
| 6              |                        | 120                                     |                     |
| 8              |                        | 120                                     |                     |
| 10             |                        | 120                                     |                     |

**Tabela 4** Zestawienie wyników dla doświadczenia nr 4 (warunki procesu: gleba bez dodatku wody, szybkość przepływu 80 dm<sup>3</sup>/h, wysokość złoża teoretyczna ok. 10 cm)

| Czas [min]     | Stężenie Toluenu [ppm] | Szybkość przepływu [dm <sup>3</sup> /h] | Wysokość złoża [cm] |
|----------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| czas równowagi |                        | 80                                      |                     |
| 2              |                        | 80                                      |                     |
| 4              |                        | 80                                      |                     |
| 6              |                        | 80                                      |                     |
| 8              |                        | 80                                      |                     |
| 10             |                        | 80                                      |                     |

**Tabela 5** Zestawienie wyników dla doświadczenia nr 5 (warunki procesu: gleba z dodatkiem 20 mL wody, szybkość przepływu 80 dm<sup>3</sup>/h, wysokość złoża teoretyczna ok. 20 cm)

| Czas [min]     | Stężenie Toluenu [ppm] | Szybkość przepływu [dm <sup>3</sup> /h] | Wysokość złoża [cm] |
|----------------|------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| czas równowagi |                        | 80                                      |                     |
| 2              |                        | 80                                      |                     |
| 4              |                        | 80                                      |                     |
| 6              |                        | 80                                      |                     |
| 8              |                        | 80                                      |                     |
| 10             |                        | 80                                      |                     |

**Wnioski:**