

Jerzy SEK, Sylwia BUCZYK

e-mail: jerzysek@p.lodz.pl

Katedra Inżynierii Chemicznej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

## Badanie procesów grawitacyjnego wymywania cieczy wysokolepkich z warstw ziarnistych

### Wstęp

Gleba jest warstwą ziarnistą, zewnętrzną powłoką skorupy ziemskiej, która powstała pod wpływem czynników glebotwórczych i podlega stałym przemianom. Do zanieczyszczenia gleby mogą przyczynić się zjawiska fizyczne powierzchniowe oraz wewnętrzne. Przemiany te mogą mieć bardzo negatywny wpływ na grunty i powiązane z nimi ekosystemy. Bardzo ważne są zatem działania zapobiegające rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń w gruncie oraz działania neutralizujące skutki różnego rodzaju awarii powodujących zanieczyszczanie środowiska.

Jednym z rodzajów substancji, które mogą wpływać na wielofazową strukturę gleby są węglowodory. Niektóre z nich są cieczami o wysokiej lepkości. Związki te mogą przedostawać się do warstw gruntu w sąsiedztwie stacji benzynowych, stacji obsługi samochodów, na terenach portowych lub też w wyniku katastrof, takich jak pęknięcia rurociągów lub rozszczelnienia cystern samochodowych lub kolejowych. Pod wpływem siły grawitacji oraz działania wód powierzchniowych substancje te migrują w głąb porowatej, ziarnistej struktury gruntu zmieniając działanie ekosystemu i stanowiąc zagrożenie dla czystości wód podziemnych [Gierak, 1995; Grochowicz i Korytkowski, 1997; Maciejewski, 1998; Strzelecki i in., 2008].

W niniejszej pracy zaprezentowano badania dotyczące procesów przenikania wody przez warstwę ziarnistą zanieczyszczoną węglowodorami w postaci substancji oleistych o dużej lepkości. Badania przeprowadzono dla kilku przypadków przenikania wody przez warstwę ziarnistą (piasek) o różnej wysokości bez domieszki oleju oraz z domieszkami oleju. Podjęta została próba określenia ilości zanieczyszczenia, jaka została wymyta ze środowiska porowatego w zależności od zanieczyszczenia początkowego.

### Metodyka i zakres przeprowadzonych badań

#### Badanie przepuszczalności złoża ziarnistego

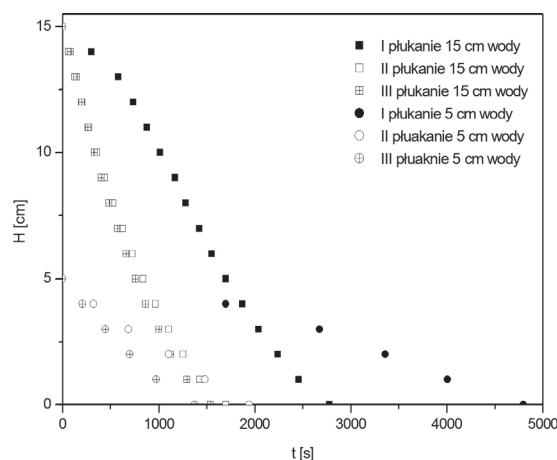
Badania przeprowadzono dla przepływu wody przez porowate złożo piasku o frakcji 400–630  $\mu\text{m}$  umieszczone w szklanej rurze (kolumnie) o wysokości 70 cm i średnicy wewnętrznej 5 cm. Medium ziarniste nasączano cieczą modelową – olejem słonecznikowym stanowiącym 20% masy tego złoża. Wysokość złoża wynosiła 5 i 15 cm. Zaolejony piasek przemywano trzykrotnie wodą stosując w pierwszym cyklu ilości odpowiadające 5 cm wysokości słupa cieczy, a w drugim cyklu wysokości 15 cm słupa cieczy przepuszczalności piasku nie zawierającego domieszki oleju.

#### Badanie ilości wymywanego oleju z warstwy ziarnistej

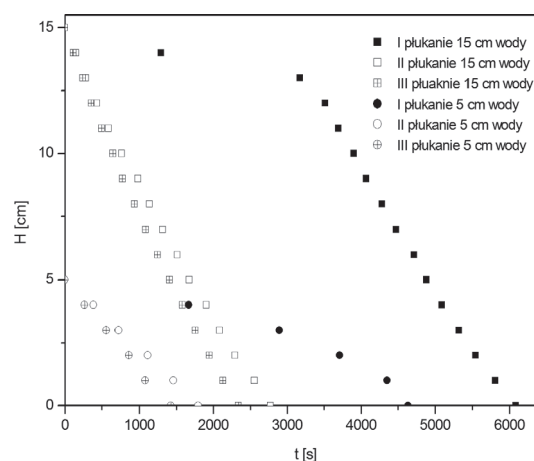
W czasie pomiaru przepuszczalności warstwy ziarnistej zmieszanej z olejem, następowało wymywanie zanieczyszczeń. W efekcie czego otrzymywano mieszaninę wody i substancji wypłukanej. W celu zmierzenia zawartości oleju w tak otrzymanych mieszaninach dodawano do nich określoną ilość emulgatora i mieszało za pomocą homogenizatora ręcznego *Braun* z napędem elektrycznym. Otrzymywano jednorodny roztwór emulsji, który wlewano do probówki, a następnie wkładano do analizatora ilości światła odbitego, nefelometru *Turbiscan*. Metodyka badań polegała na pomiarze ilości rozproszonego światła wzdłuż całej wysokości próbki. Pomiarzy były przeprowadzane w ciągu trzech minut w odstępach co jedną minutę. Korzystając z wyników tych pomiarów wyliczano średnią wartość rozproszenia dla czterech różnych czasów prowadzenia pomiaru na wysokości odpowiadającej połowie próbki.

### Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 1 i 2 przedstawiono wyniki badań przepływu przez złożo ziarniste nasączone cieczą o wysokiej lepkości – olejem, przemywane cieczą o niskiej lepkości – wodą. Na osi rzędnych przedstawiono zmniejszającą się wysokość słupa cieczy wymywającej, a na osi odciętych czas jej wypływu.



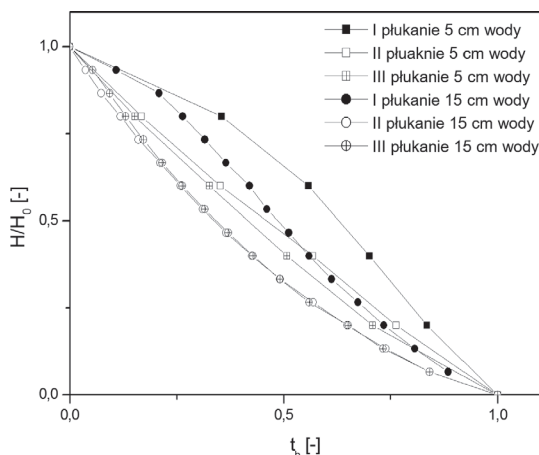
Rys. 1. Zależność wysokości słupa cieczy od czasu przepływu dla 5 cm piasku z olejem



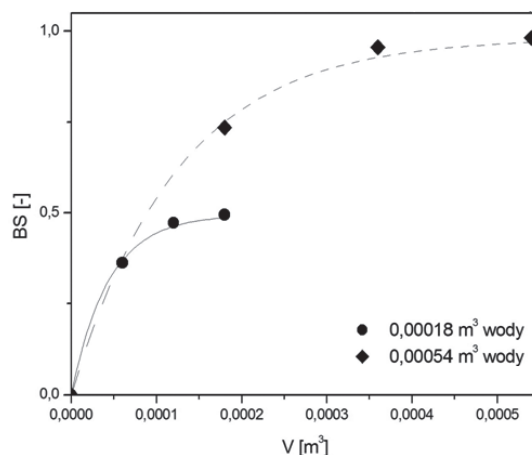
Rys. 2. Zależność wysokości słupa cieczy od czasu przepływu dla 15 cm piasku z olejem

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że najdłuższy trwał przepływ w I płukaniu, gdy piasek był maksymalnie nasączony olejem. Dla każdego z przypadków w kolejnych płukaniach następowała prawie dwukrotna redukcja całkowitego czasu przepływu wody w związku ze stopniowym wymywaniem substancji oleistych. Można zauważyć, że niezależnie od ilości użytej wody zawsze podczas pierwszego płukania czas wymywania oleju jest dłuższy niż w pozostałych przypadkach.

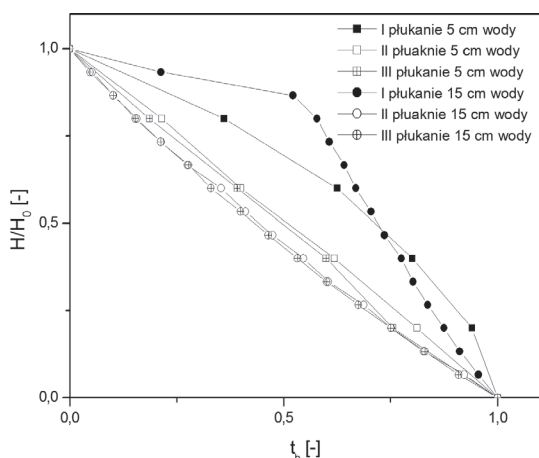
W celu lepszego zobrazowania zachodzących zjawisk wprowadzono na wykresach zmienne bezwymiarowe (Rys. 3 i 4). Wartości czasu wypływu podzielono przez całkowity czas wypływu użytej objętości cieczy wymywającej oznaczając go jako  $t_b$ . Również bieżące wysokości słupa cieczy podzielono przez wysokość początkową oznaczając tę wielkość jako  $H/H_0$ .



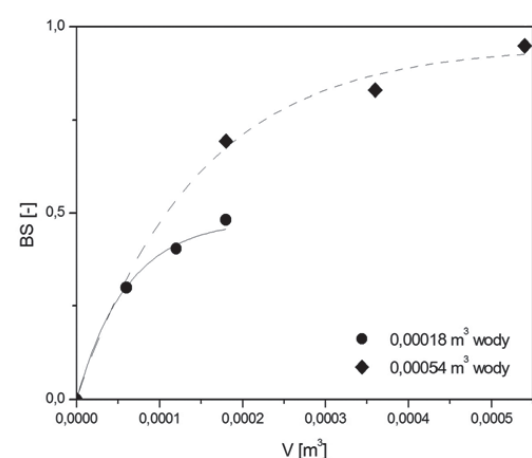
Rys. 3. Zależność  $H/H_0$  od  $t_b$  dla piasku zanieczyszczonego olejem (5 cm piasku)



Rys. 5. Procent wymytego oleju dla 5 cm warstwy piasku



Rys. 4. Zależność  $H/H_0$  od  $t_b$  dla piasku zanieczyszczonego olejem (15 cm piasku)



Rys. 6. Procent wymytego oleju dla 15 cm warstwy piasku

Analizując układ punktów doświadczalnych można zauważyć odmienny przebieg procesu wymywania dla pierwszego płukania. Niezależnie od wysokości warstwy piasku oraz początkowej ilości wody punkty układają się wzdłuż krzywej wygiętej ku górze.

Krzywe obrazujące drugie i trzecie płukanie wyginają się ku dołowi, czyli w kierunku osi  $t_b$  i osi wysokości względnej  $H/H_0$ . Odchylenia, które powstają podczas pierwszych płukań spowodowane są zanieczyszczeniem porów olejem, co powoduje, że czas wypłukiwania (przepływu wody przez warstwę) jest dłuższy. Olej znajdujący się w przestrzeni między ziarnami blokuje i spowalnia przepływ wody. W kolejnych płukaniach, gdy zanieczyszczenie warstwy stopniowo się zmniejsza, czas przepływu jest o wiele krótszy, co widać na wykresach.

W celu ilościowego oszacowania przebiegu zachodzących zmian wykonano opisane wcześniej pomiary nefelometryczne.

Ilość odbitego światła BS zmierzono za pomocą nefelometru dla jednorodnego roztworu emulsji przyjęto jako praktyczną miarę ilości oleju jaka została wypłukana ze złoża.

Następnie przedstawiono ją w funkcji objętości wody, jaka została zużyta podczas płukań złoża. W I, II i III płukaniu zostało zużyte po 5 cm lub po 15 cm słupa wody, czyli piasek został przepłukany wodą o całkowitych objętościach wynoszących odpowiednio  $0,00018 \text{ m}^3$  i  $0,00054 \text{ m}^3$ .

Wyniki tych pomiarów zostały przedstawiono na rys. 5 i 6. Z wykresów wynika, że olej głównie był wymywany w czasie pierwszego płukania. Natomiast w czasie kolejnych wymywań ilości wypłukiwanego oleju były już mniejsze. Można też zauważyć, że podczas płukania większą ilością wody jednorazowo została wypłukana większa ilość oleju.

## Wniosek

Zaproponowana zależność bardzo dobrze ilościowo opisuje obserwowany proces wymywania substancji wysokolepkiej za pomocą niskolepkiej cieczy.

Zależność może być użyteczna w praktyce przy przewidywaniu stopnia oczyszczenia warstwy ziarnistej z zawartej w niej substancji olejistej.

Podjęto próbę opisu uzyskanych wyników za pomocą zależności:

$$BS = A + B \exp(-V/C) \quad (1)$$

a wartości współczynników liczbowych podano w tab. 1.

Tab. 1. Wartości współczynników równania (1)

Wysokość warstwy piasku	5 cm (Rys. 5)		15 cm (Rys.6)		
	Oznaczenie / Współczynnik	Linia ciągła	Linia przerywana	Linia ciągła	Linia przerywana
A		0,494	0,9818	0,482	0,949
B		-0,496	-0,983	-0,483	-0,946
C		$4,372 \cdot 10^{-5}$	$1,242 \cdot 10^{-4}$	$6,092 \cdot 10^{-5}$	$1,447 \cdot 10^{-4}$

## LITERATURA

- Gierak A., 1995. Zagrożenie środowiska produktami ropopochodnymi. *Ochr. Środ.*, nr 2, 31–34
- Grochowiec E., Korytkowski J., 1997. *Ochrona gleb*. WSiP, Warszawa
- Maciejewski S., 1998. *Proces przepływu rozpuszczonych w wodzie substancji w gruncie nienasyconym*. IBW PAN, Gdańsk
- Strzelecki T., Kostecki S., Żak S., 2008. *Modelowanie przepływów przez ośrodki porowate*. DWE, Wrocław