

# Warstwa gliniastego gruntu a Bentomat

## porównanie przepuszczalności hydraulicznej

---

### Założenia

W rozważaniach tych dokonano kilku założeń. Po pierwsze przyjęto, że oba typy uszczelnień uosabiają przepływ Darcy, inaczej mówiąc: prawo Darcy ma zastosowanie do przewidywania ilości przecieku przez obie wykładziny. Rozległe studia wielu badaczy potwierdziły to założenie, pod warunkiem jednak, że wykładziny są jednorodne pod względem spoistości oraz nie zawierają żadnych spękań czy innych tego rodzaju „ścieżek ułatwionego przepływu”. Warunek ten z pewnością spełniany jest przez Bentomat, który składa się z pęczniejącego itlu (bentonitu sodowego), tworzącego po uwodnieniu spójną i jednorodną barierę hydrauliczną. Wysokie ciśnienie pęcznienia bentonitu wyklucza możliwość powstania jakichkolwiek spękań.

Badania polowych realizacji przepon z gliniastego gruntu wykazują istnienie w nich siatki „ścieżek ułatwionego przepływu”, spowodowanych nie tylko spękaniem przy wysychaniu lecz również słabymi połączeniami pomiędzy ich poszczególnymi warstwami składowymi. Występowanie sieci poziomych i pionowych ścieżek przepływu powoduje, że przepuszczalność polowa ekranów glinowych ma wartość dużo wyższą, niż wynikałoby z obliczeń przy użyciu prawa Darcy, które wymaga przesiąkliwości jednolitej na całej powierzchni. Również dlatego czas przenikania przecieku przez warstwę gliny jest znacznie krótszy, niż w ujęciu matematycznym.

Na użytek tej analizy przyjęto jednak, że przepona z gliniastego gruntu nie zawiera żadnych ścieżek ułatwionego przepływu oraz, że jej charakterystyki hydrauliczne są całkowicie jednorodne, mimo studiów badawczych (*Anderson, Daniel, Rogowski*) przytaczających dowody, że jest to warunek niemożliwy do spełnienia w realizacjach polowych.

Przyjęto, że wykładziny będą zastosowane jako uszczelnienie dna czaszy składowiska, wyposażonego w taki system zbierania odcieku, że max. słup wody nad uszczelnieniem wynosi 0,3 m. Założono dalej, że łączna grubość warstw gliny wynosi 0,9 m i charakteryzuje się przepuszczalnością  $1 \times 10^{-7}$  cm/s, a grubość zhydratyzowanego Bentomatu wynosi 1,0 cm i wykazuje przepuszczalność  $1 \times 10^{-9}$  cm/s.

---

### Parametry przepuszczalności

Efektywność hydrauliczna wykładzin jest charakteryzowana poprzez całkowitą wielkość przecieku oraz czas przesiąkania. Całkowita wiel-

kość przecieku jest ilością cieczy infiltrującej przez wykładzinę w jednostce czasu, a czas przesiąkania przedziałem czasu, w którym ciecz przenika przez wykładzinę. Natężenie przepływu przez wykładzinę określane jest przy użyciu prawa Darcy, podczas gdy czas przesiąkania może być oszacowany jedynie za pomocą szeregu modeli numerycznych. O ile prawo Darcy stanowi ważne narzędzie przewidywania wielkości przecieku, to – jak dotąd – matematyczne ujęcia czasu przesiąkania są często zupełnie niedokładne, m.in. dlatego, że ścisłe, matematyczne określenie charakterystyk wykładzin, nie do końca jest możliwe.

Zostawmy to: i tak przyznać trzeba, że czas przesiąkania ma znacznie mniejszą wagę, niż całkowita wielkość strat filtracyjnych.

---

## Porównanie wielkości przecieków

Ilość cieczy infiltrującej przez wykładziny wynika z zasady przepływu cieczy w gruntach, określanej prawem Darcy. Przedstawione obliczenia pozwalają oszacować ilości przesiąkającej przez obydwie wykładziny cieczy.

### Przeciek przez Bentomat

Według prawa Darcy całkowity przeciek przez wykładzinę jest określony wzorem:

$$Q = k \times i \times A$$

gdzie:

**Q** = wydatek przepływu przez wykładzinę w m<sup>3</sup>/dobę

**k** = współczynnik filtracji: 1 x 10<sup>-9</sup> cm/s = 8,64 x 10<sup>-7</sup> m/dobę

**i** = (wysokość słupa wody + grubość wykładziny)/grubość wykładziny = (0,3 + 0,1)/0,01 = 31

**A** = 1 ha = 10000 m<sup>2</sup>

$$Q = 8,64 \times 10^{-7} \times 31 \times 10000 = \mathbf{0,27 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{dobę}}$$

### Przeciek przez ekran glinowy

Jak poprzednio:

$$Q = k \times i \times A$$

gdzie:

**Q** = wydatek przepływu przez wykładzinę, w m<sup>3</sup>/dobę

**k** = współczynnik filtracji: 1 x 10<sup>-7</sup> cm/s = 8,64 x 10<sup>-5</sup> m/dobę

**i** = (wysokość słupa wody + grubość wykładziny)/grubość wykładziny = (0,3 + 0,9)/0,09 = 1,33

**A** = 1 ha = 10000 m<sup>2</sup>

$$Q = 8,64 \times 10^{-5} \times 1,33 \times 10000 = \mathbf{1,15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{dobę}}$$

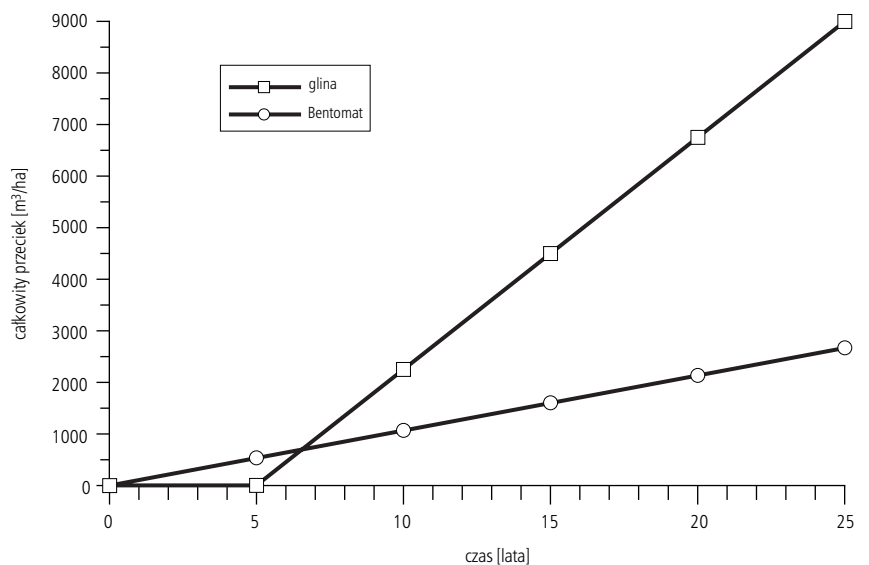
Analiza ta dowodzi, że niższa przepuszczalność Bentomatu, powodująca ponad 4 krotnie mniejszą wielkość przecieku, ma większe znaczenie niż efekty wyższego gradientu hydraulicznego w przypadku grubszej warstwy gliny. Analiza taka powtarzana dla różnych gradien-

tów wykazałaby, że Bentomat będzie zawsze bardziej efektywny, z wyjątkiem przypadków bardzo niskich spadków hydraulicznych.

## Czas przesiąkania

Zważywszy, że poprzednia analiza wykazała tak zdecydowaną przewagę Bentomatu pod względem całkowitej ilości przecieku, porównywanie czasów przesiąkania wydaje się mieć znaczenie drugorzędne. Zamiast dokonywania w tym względzie skomplikowanych i trudnych do zweryfikowania obliczeń matematycznych, przyjmuje się zwykle hipotezę, a następnie bada wpływ takiego ujęcia na całkowitą wielkość przecieku. I tak zakłada się tutaj, że czas przesiąkania Bentomatu jest natychmiastowy, tzn. że ciecz przepływa przez Bentomat momentalnie. Tak się oczywiście w rzeczywistości nie dzieje lecz jest najbardziej niekorzystnym założeniem jakiego można dokonać. W przypadku gliny zakłada się natomiast, że przesiąknięcie następuje dopiero po 5 latach. Jest to z kolei szacunek bardzo na wyrost, bo rzeczywisty czas przesiąknięcia jest znacznie krótszy (por. Goode).

Przy wyżej założonych warunkach całkowity, przeciek przez obydwie wykładziny w funkcji czasu, przedstawiony został na wykresie:



Wynika z niego, że mimo krótszego czasu przesiąkania, ogólna ilość przecieku jest dużo mniejsza przy uszczelnieniu Bentomatem, z wyjątkiem – jedynie – samego początku eksploatacji systemu wykładziny. Przepona z gliniastego gruntu byłaby preferowana tylko wtedy, gdyby okres funkcjonowania składowiska był krótszy niż 5 lat.

---

## Wnioski

Przedstawione tu dane wykazują, że efektywność hydrauliczna Bentomatu jest dużo wyższa niż uszczelnienia z gliniastego gruntu nawet w przypadku przyjęcia wybitnie zachowawczego założenia dotyczącego jednorodności gliny. Trzeba również zauważyć, że przy porównywaniu projektów z użyciem obu wykładzin, rozważać należy też i inne czynniki. Pracochłonność, szybkość wykonania, koszty, kontrola jakości, stateczność zboczy, odporność na cykliczne zmiany temperatury i wilgotności, są tylko niektórymi zagadnieniami projektowymi, które powinny być wnikliwie rozważone przy wyborze sposobu uszczelnienia.

---

## Literatura

- Anderson, David C., et al., *Factors Controlling Minimum Soil Liner Thickness*, EPA/600/S2-91/008, August 1991.
- Daniel, David E., et al., *Rate of Flow of Leachate Through Clay Soil Liners*, EPA/600/S2-91/021, July 1991.
- Daniel, David E., *Earthen Liners for Land Disposal Facilities. Proceedings, Geotechnical Practice for Waste Disposal, ASCE Specialty Conference, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, June 15-17, 1987.*
- Goode, Daniel J., *Evaluation of Simplified Techniques for Predicting Moisture Breakthrough of Soil Liners*, „HMCRI Monograph Series, Barrier and Waste Fixation Technology”, Volume II, Silver Spring, Maryland.
- Rogowski A.S., *Relationship of Laboratory and Field-Determined Hydraulic Conductivity in Compacted Clay Layers*, EPA/600/S2-90/025, September 1990.