

# Badania filtracji w aparacie trójosiowego ściskania przy różnych warunkach przepływu na przykładzie glin przewarstwionych pyłami

7.WPGI  2021



**ŁUKASZ KACZMAREK,  
AGNIESZKA DĄBSKA,  
PAWEŁ POPIELSKI**



Wydział Instalacji Budowlanych,  
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska  
Politechnika Warszawska  
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa

# Plan prezentacji

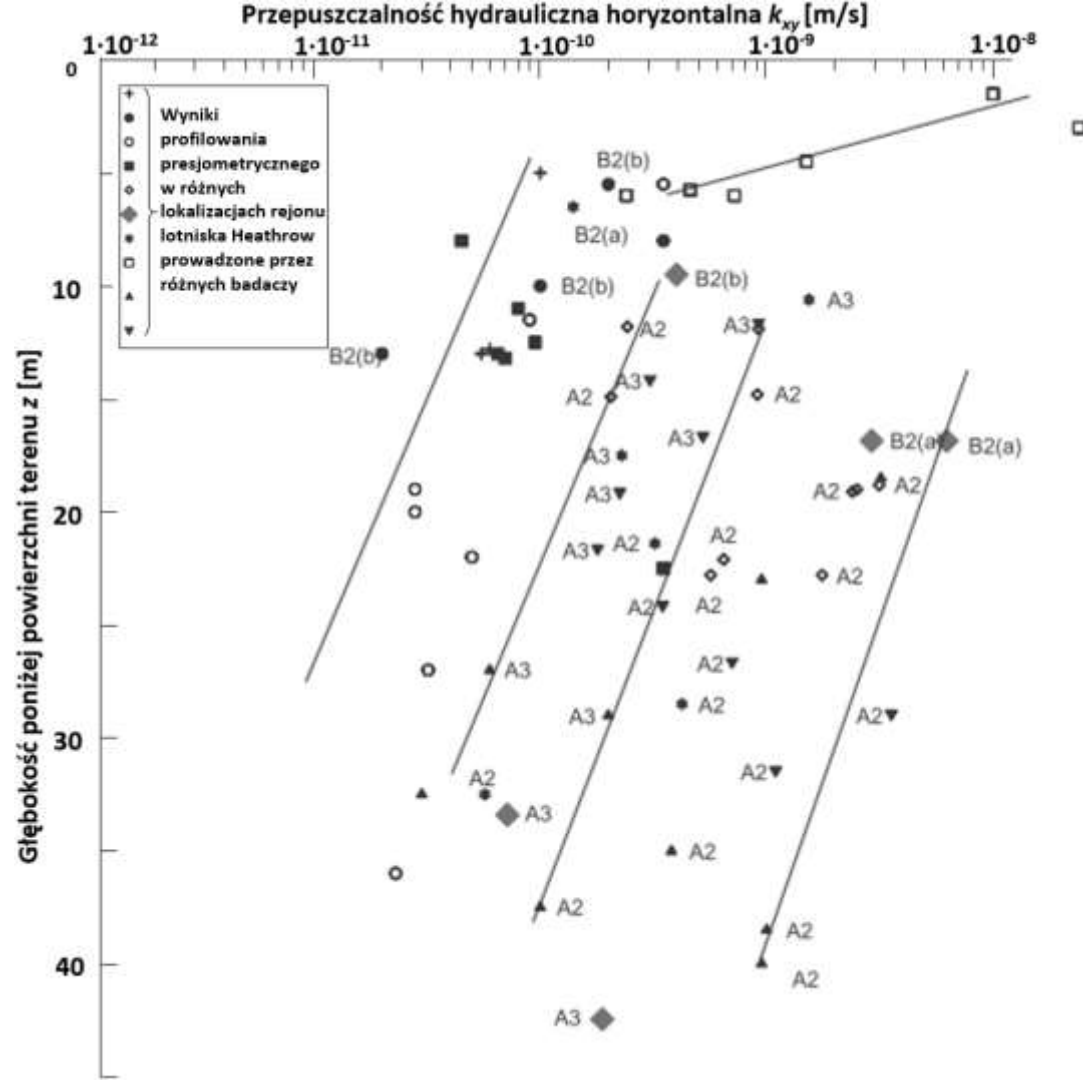
1. Wprowadzenie
2. Materiał badawczy
3. Metodyka
4. Wyniki i krótka analiza
5. Podsumowanie

*Wybrana literatura*

**Słowa kluczowe:**  
glina, współczynnik  
filtracji pionowej,  
aparatury trójosiowego  
ściskania,  
struktura gruntu,  
stały gradient  
hydrauliczny

# 1. Wprowadzenie

Fig. →. Wyniki pomiarów wodoprzepuszczalności łąw londyńskich w rejonie lotniska Heathrow z wykorzystaniem presjometru [zmodyfikowane za Hight i in. 2007].



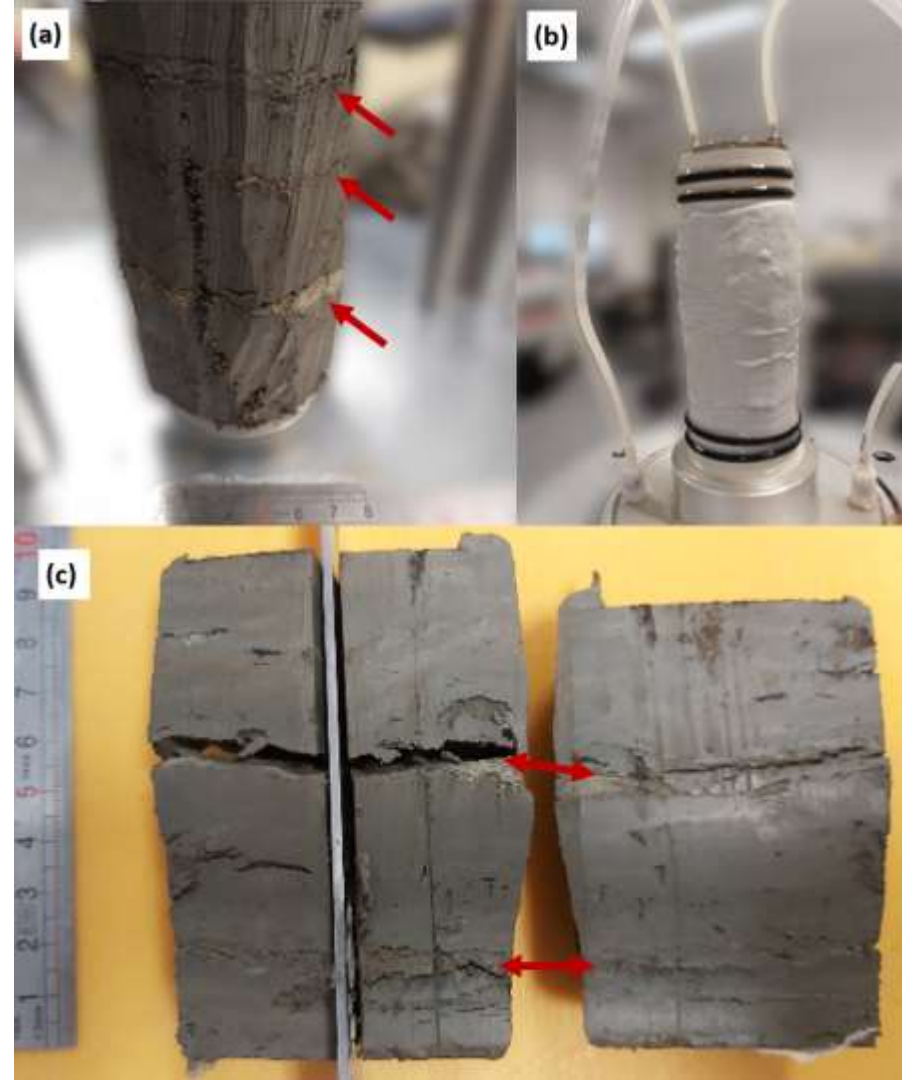
# 2. Materiał badawczy

Fig. →. Badana próbka gliny pylastej zwięzłej laminowanej pyłami (wskazane czerwonymi strzałkami):

(a) w trakcie wycinania do formy walca;

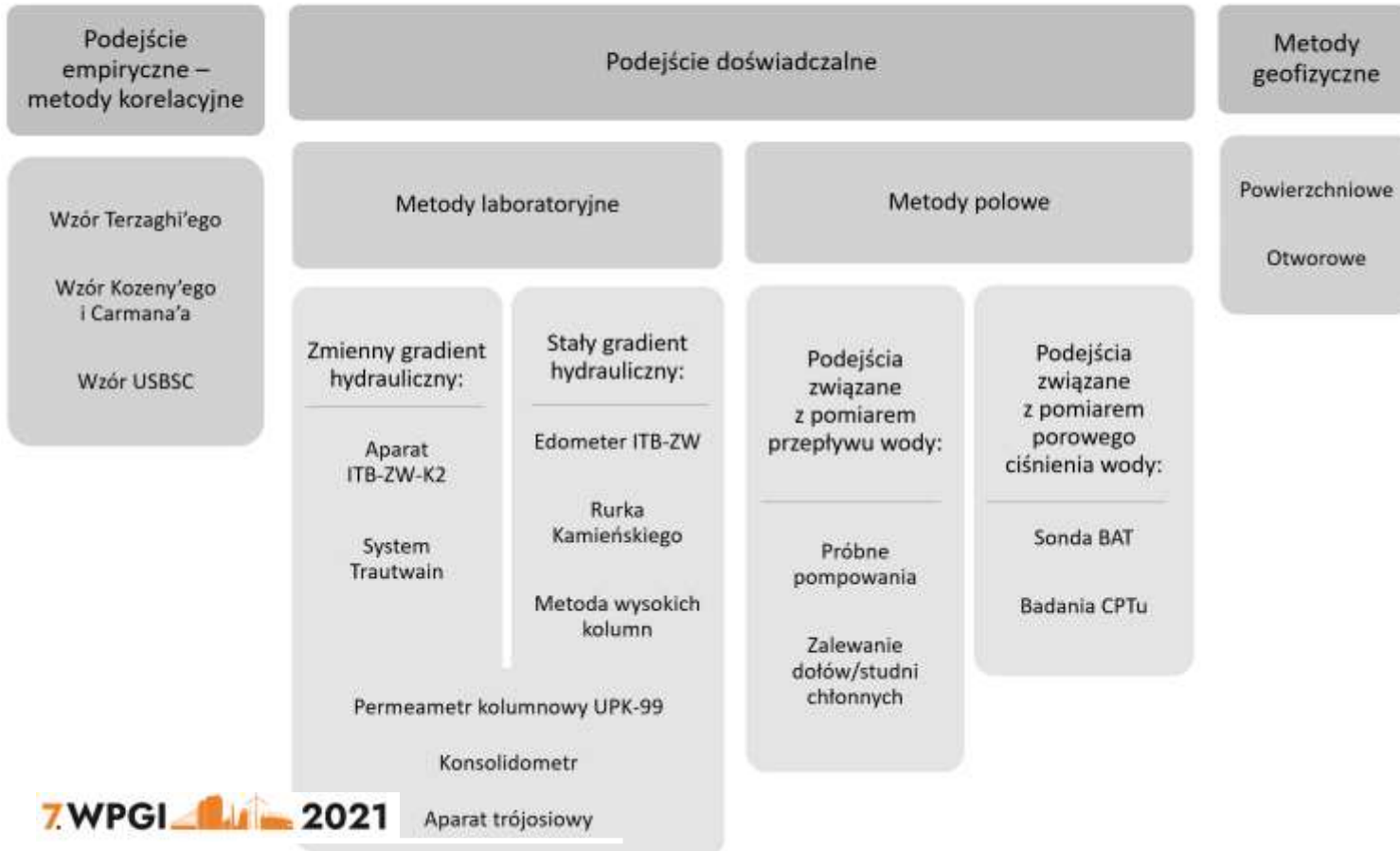
(b) po badaniu w gumowej membranie;

(c) po badaniu rozcięta na pół.



# 3. Metodyka

## Wyznaczanie współczynnika filtracji



1	Charakter przepuszczalności [Pazdro Z., Kozerski B. 1990]	bardzo dobra	dobra	średnia	słaba	półprzepuszczalne	nieprzepuszczalne
2	Główne typy gruntów [Pazdro Z., Kozerski B. 1990]	rumosze, żwiry, żwiry piaszczyste, gruboziarniste i równoziarniste piaski	piaski gruboziarniste, nieco ilaste, piaski różnoziarniste, piaski średnioziarniste	piaski drobnoziarniste, równomiernie uziarnione, less	piaski pyliste, gliniaste, mułki	gliny, namuły, ropy piaszczyste	ropy, ropy, zwarte gliny ilaste, margle ilaste
3	Metody badań - bezpośrednie	aparaty o stałym spadku hydraulicznym		rura pozioma		aparaty o zmiennym spadku hydraulicznym	
		edometr, aparat trójosiowego sciskania					
4	Metody badań - pośrednie	na podstawie składu granulometrycznego z teorii konsolidacji					
5	Charakterystyka przepływu [Head K.H., 1998]	dobra			słaba		praktycznie nieprzepuszczalna
6	Klasyfikacja przepuszczalności [Head K.H., 1998]	wysoka	średnia	niska	bardzo niska	praktycznie nieprzepuszczalna	

Współczynnik filtracji (m/s) =  $k \times$

$10^{-1}$   $10^{-2}$   $10^{-3}$   $10^{-4}$   $10^{-5}$   $10^{-6}$   $10^{-7}$   $10^{-8}$   $10^{-9}$   $10^{-10}$   $10^{-11}$

Aparat trójosiowego ściskania do badań filtracji:

- (a) komora trójosiowa (wewnątrz próbka) na prasie elektromechanicznej;
- (b) kontroler ciśnienia wody w komorze do zadawania naprężenia bocznego (z lewej) i podwójny kontroler ciśnienia wody w górnej i dolnej części próbki gruntu (z prawej).



Wyznaczenie współczynnika pionowej filtracji  $k_z$  w aparacie trójosiowego ściskania polegało na pomiarze wydatku, tj. ilości wody przechodzącej przez próbkę w określonej jednostce czasu ( $Q$ ), przepływającej z jednego kontrolera ciśnienia wody do drugiego przez próbkę gruntu (ang. triaxial permeability test with two back pressure systems), na podstawie wzoru:

$$k = \frac{Q}{Ai} \quad (1)$$

gdzie:

$Q$  – natężenie przepływu ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$A$  – przekrój poprzeczny przez walcową próbkę, ( $A \approx 0,002 \text{ m}^2$ );

$i$  – gradient hydrauliczny (-),

$$i = \Delta h / l \quad (2)$$

gdzie:  $l$  – droga filtracji (m),

w analizowanym przypadku wysokość próbki  $l = 0,1 \text{ m}$ ;

$\Delta h$  – różnica wysokości hydraulicznej (m).

Przy założeniu, że 1 m słupa wody wywiera 10 kPa ciśnienia wody ( $u$ ), wzór (2) przyjmuje postać:

$$i = \Delta u / (l \cdot \gamma_w) \quad (3)$$

gdzie:

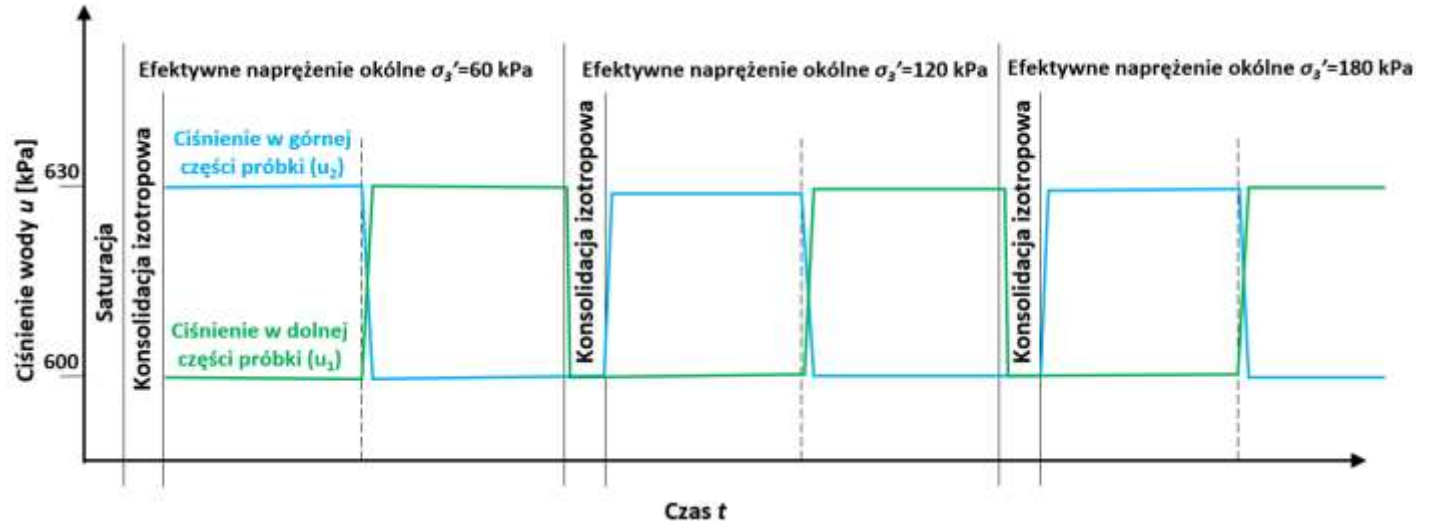
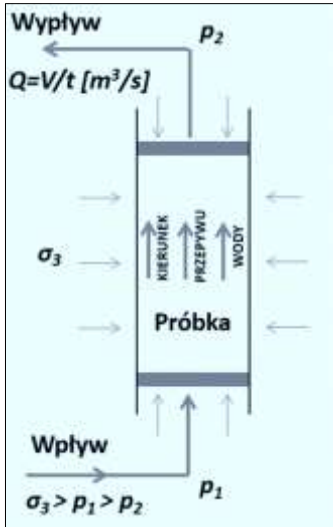
$\gamma_w$  – ciężar właściwy wody;

$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ ;

$l$  – jak we wzorze (2), stąd  $i = \Delta u$  (-).



Zastosowany schemat badawczy wyznaczania współczynnika pionowej filtracji w aparacie trójosiowego ściskania.

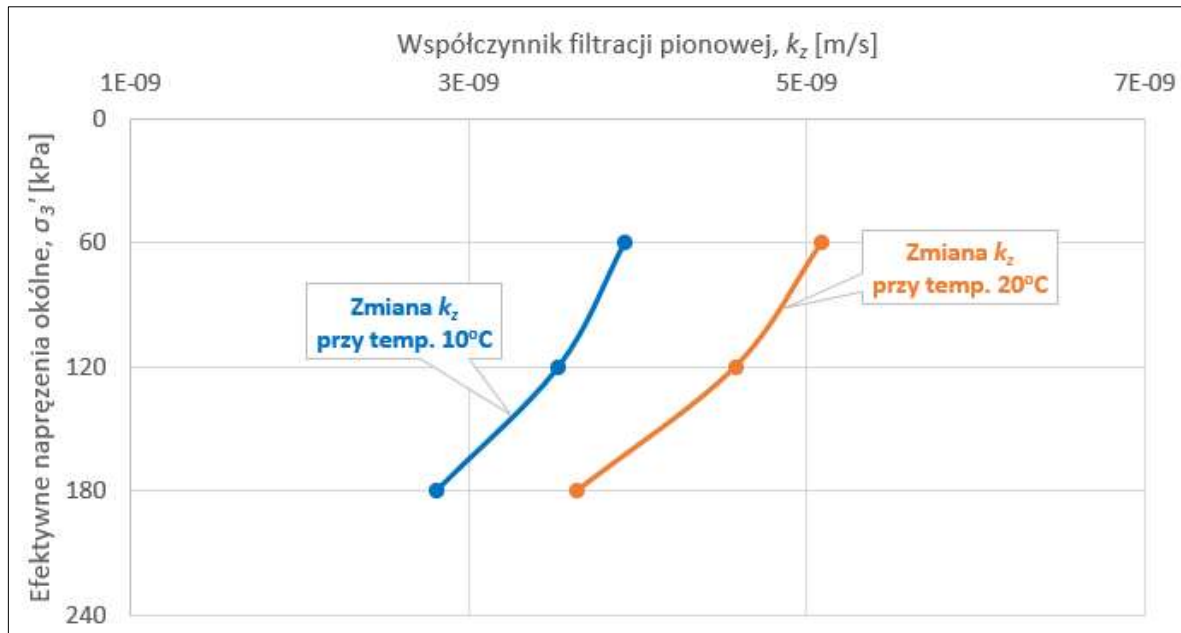


# 4. Wyniki i krótka analiza

Wyniki badań współczynnika filtracji próbki anizotropowej gliny pylastej zwięzłej w różnych stanach naprężenia.

Efektywne naprężenie okólne $\sigma_3'$ (kPa)	Zwrot <i>quasi</i> osiowego przepływu	Współczynnik filtracji $k_z$ (m/s)		
		Wyniki na danym etapie badania	Wartość uśredniona	Uwzględnienie poprawki temp. $\alpha$ dla $T = 10^\circ\text{C}$
60	do dołu	$5,97 \cdot 10^{-9}$	$5,09 \cdot 10^{-9}$	$3,92 \cdot 10^{-9}$
	do góry	$4,21 \cdot 10^{-9}$		
120	do dołu	$5,27 \cdot 10^{-9}$	$4,58 \cdot 10^{-9}$	$3,53 \cdot 10^{-9}$
	do góry	$3,89 \cdot 10^{-9}$		
180	do dołu	$3,87 \cdot 10^{-9}$	$3,64 \cdot 10^{-9}$	$2,81 \cdot 10^{-9}$
	do góry	$3,41 \cdot 10^{-9}$		

# Zależność współczynnika filtracji pionowej od efektywnego naprężenia okólnego dla badanego materiału.



## Gliny piaszczyste zwięzłe

Szczepański, Wójcik i Gawriuczenkow; 2011

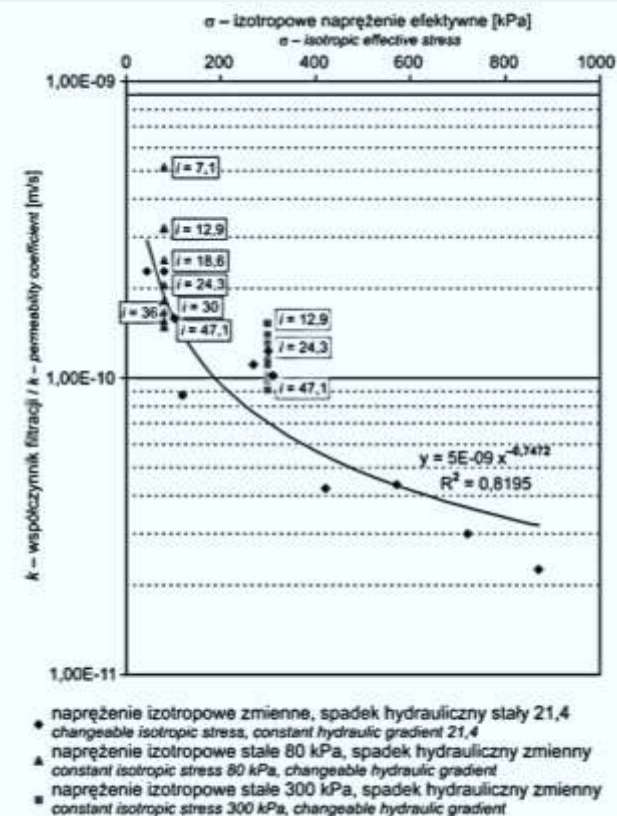
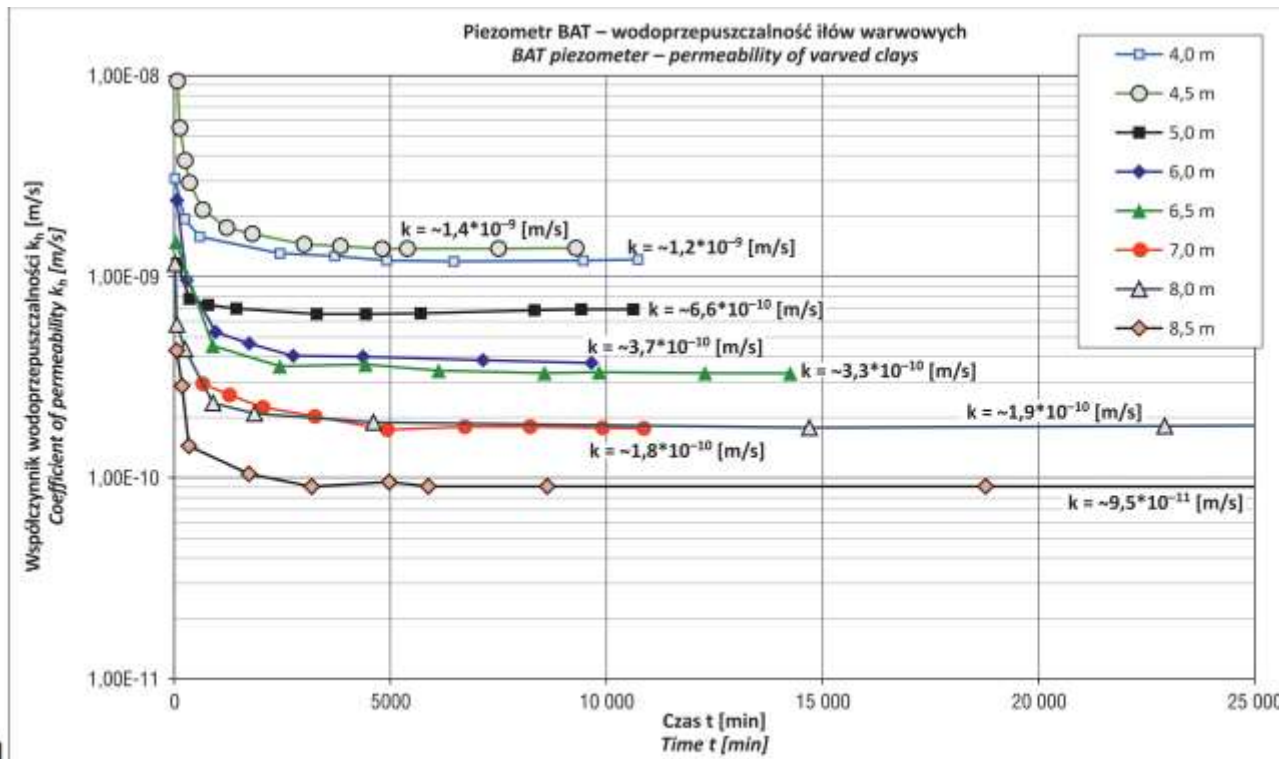


Fig. 2. Wykres przedstawiający zależność współczynnika filtracji od naprężenia efektywnego dla próbek nr 12 (3 serie pomiarów)

Laboratoryjne badania wodoprzepuszczalności gruntów z wykorzystaniem aparatury trójosiowego ściskania umożliwiają dokładne odtworzenie warunków *in situ*. Interpretując wyniki analiz, należy podkreślić, że w zagadnieniach przyrodniczych występuje silna niejednorodność i wysoki stopień skomplikowania cech środowiskowych. W przypadku współczynnika filtracji takim przykładem może być zawartość frakcji ilowej, silnie determinującej trendy zmian wartości współczynnika filtracji  $k$ , której udział w gruncie może ulegać dużym wahaniom, nawet w tym samym wydzieleniu litofacjalnym [Zawrzykraj 2017].



Ryc. 10. Wybrane krzywe stabilizacji współczynnika wodoprzepuszczalności  $k_0$  w czasie

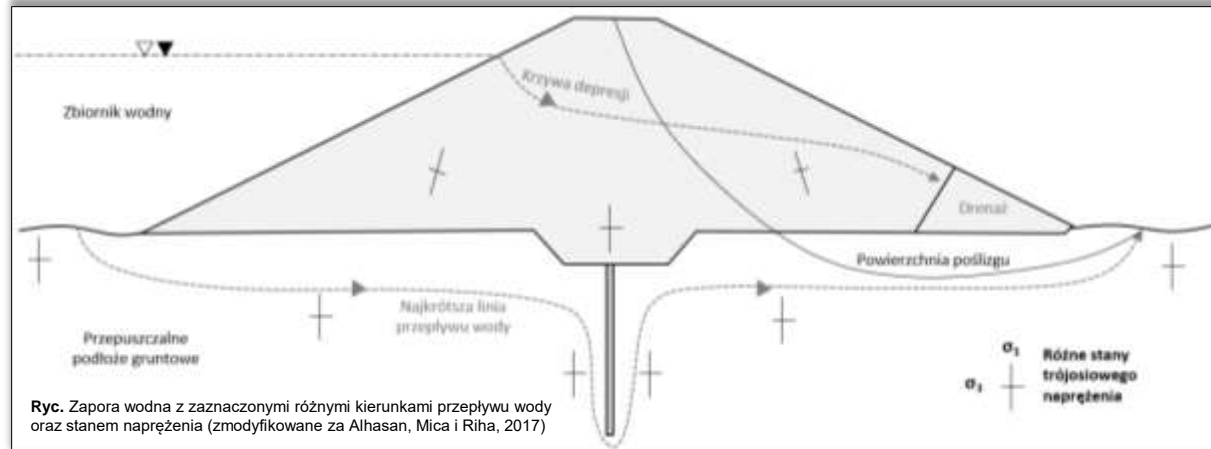
# Przykładowe implementacje trójosiowych badań filtracji

Referencyjne wartości współczynnika filtracji dla określanych wartości  $k$  innymi metodami (empirycznymi, doświadczalnymi czy geofizycznymi).

Określanie właściwości filtracyjnych naturalnych oraz sztucznych (grunty antropogeniczne takie jak popioły czy osady typu zagęszczone szlamy) barier izolacyjnych. W tej grupie zagadnień czas i kierunek przemieszczenia się zanieczyszczeń w glebach i gruntach jest bardzo ważnym aspektem badań właściwości filtracyjnych różnych ośrodków.

Wyniki testów filtracji w aparacie trójosiowym znajdują szerokie zastosowania, w badaniach wałów przeciwpowodziowych, rdzeni zapór (gdzie występują także różne kierunki przepływu oraz stan naprężenia), czy tymczasowych przesłon filtracyjnych dla realizacji różnego rodzaju inwestycji oraz napraw sieci wodno-kanalizacyjnych.

Ponadto, wyniki opisywanych badań można zastosować w projektowaniu zbiorników infiltracyjnych, czy projektowaniu złóż filtracyjnych w technologiach wody i ścieków (np. dobór uziarnienia dla ustalonej prędkości filtracji).



# 5. Podsumowanie

- Współczynnik filtracji pionowej dla badanej gliny pylastej zwięzłej jest rzędu  $10^{-9}$  m/s. Taka wartość mieści się w dolnym przedziale szacowanej wartości współczynnika filtracji glin (od  $<10^{-8}$  m/s do  $10^{-6}$  m/s), co wskazuje na wpływ uwzględnienia w badaniach efektywnego naprężenia oddziałującego na grunt.
- Wyniki przeprowadzonych testów umożliwiły stwierdzenie zmian współczynnika filtracji pionowej (do 28% wartości  $k_z$ ) w funkcji **wzrastającego efektywnego naprężenia** okólnego (w zakresie od 60 kPa do 180 kPa).
- Przewarstwienia i wtrącenia pylaste z częściami organicznymi nie spowodowały podwyższenia wartości  $k_z$ , co świadczy o braku uprzywilejowanych dróg przepływu w kierunku prostopadłym do warstwowania i dominującym udziale porowatości zamkniętej.
- Analizowane studium przypadku potwierdza użyteczność aparatu trójosiowego ściskania w ewaluacji wodoprzepuszczalności gruntów słabo przepuszczalnych, który jednocześnie umożliwia szersze spektrum badań zmian przestrzennego stanu naprężenia.

# Wybrana literatura

Head K.H., Epps R., 2014, Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 3: Effective Stress Tests, Productivity PR Inc., 414 s.

Hight D., Gasparre A., Nishimura S., Minh N.A., Jardine R.J., Coop M.R., 2007, Characteristics of the London Clay from the Terminal 5 site at Heathrow Airport, Geotechnique, 57 (1), 3-18, DOI: 10.1680/geot.2007.57.1.3.

Kaczmarek Ł., Dąbska A., Popielski P., 2021, Wyniki laboratoryjnych badań filtracji przykładowych glin przewarstwionych pyłami w różnym trójosiowym stanie naprężenia. W druku.

Myślińska E., 2016, Laboratoryjne badania gruntów, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 280 s.

Pazdro Z., Kozerski B., 1990, Hydrogeologia ogólna, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 623 s.

Szczepański T., Wójcik E., Gawriuczenkow I., 2011, Zmienność współczynnika filtracji w zależności od spadku hydraulicznego na przykładzie badań glin w miejscowości Różanka, Biuletyn PIG, 446 (2), 417-421.

Zawrzykraj P., 2017, Ocena parametrów filtracyjnych ilów warwowych ze stanowiska Plecewice k. Sochaczewa w warunkach in situ, Przegląd Geologiczny, 65 (9), 587-596.

***DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ***



**7.WPGI  
2021**

