

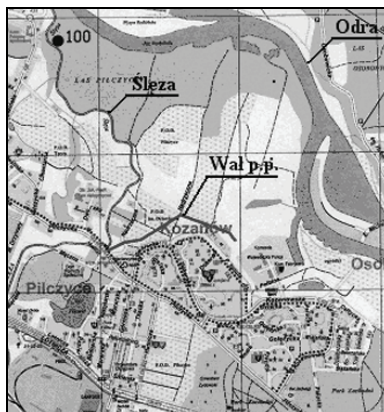
Mieczysław Chalfen\*, Tadeusz Molski\*\*

## WPŁYW PARAMETRÓW EKRANU GRUNTOWEGO NA WARUNKI FILTRACJI W ZIEMNYCH BUDOWLACH HYDROTECHNICZNYCH

---

### 1. Wstęp

Bezpieczeństwo eksploatacji ziemnych budowli hydrotechnicznych w dużym stopniu zależy od warunków filtracji wody przez budowlę wraz z jej podłożem. Dla poprawy warunków filtracji stosowane są dodatkowe elementy konstrukcyjne, między innymi ekran gruntowy na skarpie odwodnej [2, 3, 10]. Ocena prognozowanej skuteczności ekranu gruntowego o różnych parametrach na warunki filtracji wykonana została poprzez badania na modelach matematycznych projektowanego ziemnego wału przeciwpowodziowego rz. Odry dla ochrony osiedla Kozanów we Wrocławiu (rys. 1).



Rys. 1. Plan sytuacyjny

---

\* Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław

\*\* Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław

## 2. Warunki hydrogeologiczne

Teren badań pod względem geograficznym zlokalizowany jest w Pradolinie Odry na Równinie Wrocławskiej należącej do makroregionu Niziny Śląskiej i obejmuje fragment lewobrzeżnej terasy zalewowej rzeki Odry, a wzdłuż przebiegu wału (dł. 1,033 km) charakteryzuje się rzeźbą terenu o deniwelacjach rzędu 4,0 m.

Z geomorfologicznego punktu widzenia rozpatrywany teren stanowi fragment dolin rzecznych rzeki Ślęzy i Odry. Pod warstwą gleby i lokalnie niekontrolowanych nasypów mineralnych lub mineralno-gruzowych o miąższości ok. 1,5 m znajdują się czwartorzędowe osady madowe i gliniaste terasów zalewowych wyższych, piaski i żwiry z wkładkami glin terasu zalewowego wyższego i terasu nadzalewowego oraz gliny zwałowe. Pod czwartorzędem zalegają trzeciorzędowe ropy i mułki.

Trasa projektowanego wału przebiega w obrębie jednej jednostki hydrograficznej zlewni rzeki Odry z dopływem rzeki Ślęzy. Pierwszy poziom wód podziemnych o zwierciadle swobodnym znajduje się w podłożu terenu zbudowanego z zaglinionych piaszczysto-żwirowych utworów, w zależności od zalegania spągu, na głębokości 2,2÷6,5 m. [1, 6].

## 3. Model matematyczny filtracji przez ziemny wał przeciwpowodziowy

Do opisu zjawiska filtracji nieustalanej przy swobodnym reżimie przepływu w płaskim, pionowym przekroju przez korpus i podłoże zapory ziemnej, wału przeciwpowodziowego, wykorzystano równanie Richardsa [5, 8]:

$$(C + \beta S_s) \frac{\partial h}{\partial t} = (K(p)h_x)_x + (K(p)h_z)_z + S \quad (1)$$

Dla warunków ruchu ustalonego przyjęto, że  $\partial h / \partial t = 0$ . Przy dodatkowym założeniu, że w analizowanym obszarze filtracji nie ma zewnętrznych źródeł poboru wody, tzn.  $S = 0$ , równanie (1) redukuje się do postaci:

$$(K(p)h_x)_x + (K(p)h_z)_z = 0 \quad (2)$$

Funkcje przewodności hydraulicznej przyjęto wg propozycji van Keulena i Wolfa [8]. Równanie (2) uzupełnione warunkami brzegowymi Dirichleta lub Neumana rozwiązano metodą elementów skończonych. Powierzchnię swobodnego zwierciadła wód gruntowych opisaną przez warunek  $p = 0$  wyznaczono z równania  $h = z$ . W obliczeniach wykorzystano autorski program FIZ (Filtracja i Zanieczyszczenia) [4].

## 4. Obliczenia komputerowe

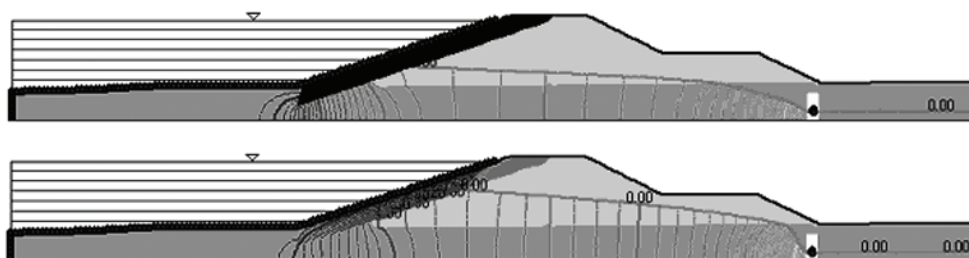
W obliczeniach wpływu parametrów ekranu słabo- i całkowicie nieprzepuszczalnego na warunki filtracji w korpusie i podłożu zapory ziemnej wykorzystano 3 charakterystyczne

przekroje przez projektowany wał przeciwpowodziowy dla osiedla Kozanów [7, 9], oznaczone jako P10, P11 i P17. We wszystkich przekrojach badano wpływ zmiennej przepuszczalności materiału, z którego planuje się wykonać ekran przeciwfiltracyjny, oraz wpływ zmiennej grubości ekranu na całkowity przepływ przez warstwę wodonośną, wielkości uskoku zwierciadła swobodnego na ekranie oraz długości maksymalnego wektora prędkości przepływu wody u podnóża ekranu. Wielkości te mają istotne znaczenie dla bezpieczeństwa budowli [2, 9–11]. Przyjmowano, że współczynnik filtracji materiału przeznaczonego do wykonania ekranu waha się w przedziale od 0,0 do 0,1 m/d. Grubość ekranu przyjmowano w przedziale od 0,25 m do 1,0 m. Dla wykorzystanych w analizie przekrojów przyjęto współczynnik filtracji w podłożu równy 1,0 m/d, w korpusie 10,0 m/d. Poziom wody na tarasie zalewowym i na skarpie odwodnej przyjęto jak dla przepływu kontrolnego. Jako element odwadniający podłoże wału przyjęto dren usytuowany u podnóża skarpy odpowietrznej, na głębokości określonej w projekcie [7]. Założono, że dren odprowadza całkowicie wodę z warstwy wodonośnej, co pozwala opisać go poprzez wewnętrzny warunek brzegowy  $h = z$ . Obliczenia we wszystkich wariantach prowadzono do chwili ustabilizowania się przepływu, co następowało, w zależności od przyjętego schematu obliczeniowego i przyjętej przepuszczalności oraz grubości ekranu, po czasie od 30 do 60 dni.

## 5. Wpływ przepuszczalności ekranu przeciwfiltracyjnego na warunki filtracji

Obliczenia komputerowe wykonano przyjmując, że współczynnik filtracji  $k_e$  materiału słaboprzepuszczalnego przeznaczonego do budowy ekranu równy jest 0, 0,001, 0,01, 0,05, 0,075 oraz 0,1 m/d. We wszystkich przekrojach przyjęto, że grubość ekranu równa jest  $d_e = 1,0$  m. W każdym wariantcie obliczeniowym wyznaczono wielkość całkowitego przepływu wody przez korpus i podłoże, określono uskok na ekranie jako różnicę poziomu zwierciadła wody gruntowej po obu stronach ekranu oraz odczytano długość największego wektora przepływu wody pod ekranem.

Rysunek 2 ilustruje przykładowe porównanie poziomu wód gruntowych dla wariantu z ekranem nie- oraz słabo przepuszczalnym.



**Rys. 2.** Hydroizohipsy dla przekroju P10, grubość ekranu  $d_e = 1$  m,  $k_e = 0$  oraz 0,1 m/d: linia czerwona — powierzchnia wód gruntowych  $h = z$ , czyli  $p = 0$ , linie niebieskie — hydroizohipsy

Porównując oba wykresy można zaobserwować istotny wpływ przepuszczalności ekranu na kształt powierzchni swobodnej. Dokładne rezultaty obliczeń zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1  
Wpływ przepuszczalności ekranu na parametry filtracji

Przekrój	$k_e$ [m/d]	$U_e$ [m]	$v_{\max}$ [m/d]	$q$ [m <sup>2</sup> /d]
P10	0,0	2,42	1,01	0,45
	0,001	2,40	1,00	0,46
	0,01	2,23	0,88	0,55
	0,05	1,81	0,54	0,90
	0,075	1,60	0,42	1,07
	0,1	1,50	0,34	1,21
P11	0,0	2,26	0,84	0,95
	0,001	2,26	0,83	0,96
	0,01	2,16	0,76	1,04
	0,05	1,83	0,54	1,36
	0,075	1,71	0,45	1,53
	0,1	1,59	0,38	1,68
P17	0,0	1,40	0,55	0,66
	0,001	1,40	0,55	0,66
	0,01	1,36	0,52	0,69
	0,05	1,23	0,40	0,79
	0,075	1,17	0,35	0,85
	0,1	1,10	0,31	0,90

gdzie:

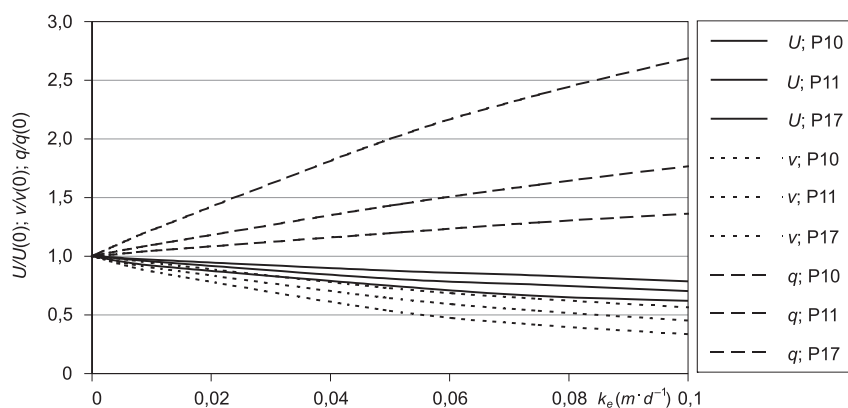
- $k_e$  — współczynnik filtracji ekranu,
- $U_e$  — uskok powierzchni swobodnej na ekranie,
- $v_{\max}$  — maksymalna długość wektora prędkości poniżej ekranu,
- $q$  — całkowity przepływ przez warstwę wodonośną.

Zwiększanie przepuszczalności ekranu powoduje wzrost przepływu, podniesienie się zwierciadła wód gruntowych (tj. zmniejszenie uskoku na ekranie) oraz zmniejszenie maksymalnego wektora przepływu pod ekranem. W celu lepszego zilustrowania zmienności charakterystyk przepływu sporządzono tabelę 2 oraz rysunek 3, pokazujące stosunek  $U_e$ ,  $v_{\max}$  oraz  $q$  uzyskanych przy największej z zakładanych przepuszczalności ekranu  $k_e = 0,1$  m/d do wartości uzyskanych w wariancie z ekranem całkowicie nieprzepuszczalnym.

Widać, że przy przepuszczalności ekranu  $k_e = 0,1$  m/d uskok na ekranie może się zmniejszyć do 60÷80% wartości podstawowej obliczonej dla ekranu nieprzepuszczalnego. Przepływ  $q$  przez warstwę może być nawet prawie 3-krotnie większy. Te dwa elementy bezpieczeństwa budowli ulegają wyraźnemu pogorszeniu. Natomiast zmniejszenie maksymalnej prędkości przepływu do 30÷50% wartości bazowej zmniejsza ryzyko upłynnienia gruntu [9, 11]. Trzeba jednak podkreślić, że obliczone charakterystyki przepływu w stosunku do obliczonych dla wariantu z ekranem nieprzepuszczalnym wykazują liniową zależność od współczynnika filtracji ekranu. Z tego wynika, że niekorzystne z punktu widzenia bezpieczeństwa zjawiska uwypuklają się przy współczynniku filtracji  $k_e$  od 0,05 do 0,1 m/d. W zakresie od 0,0 do 0,01 m/d różnice parametrów przepływu nie są tak istotne.

TABELA 2  
Stosunek parametrów

Przekrój	$U_e(k_e = 0,1)/U_e(k_e = 0)$	$v_{\max}(k_e = 0,1)/v_{\max}(k_e = 0)$	$q(k_e = 0,1)/q(k_e = 0)$
P10	0,62	0,34	2,69
P11	0,70	0,45	1,77
P17	0,78	0,56	1,36

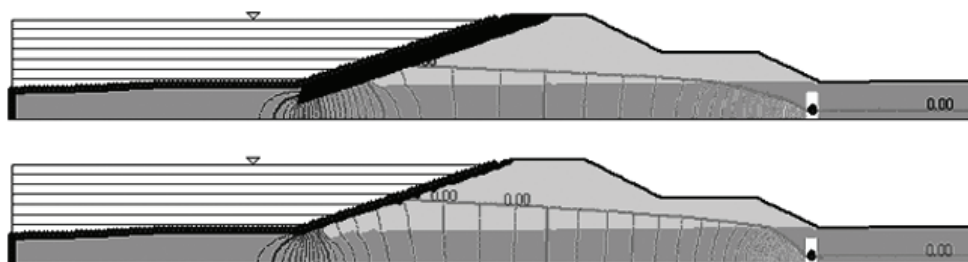


Rys. 3. Liniowa zależność ilorazu  $U/U(k_e = 0)$ ,  $v/v(k_e = 0)$  oraz  $q/q(k_e = 0)$  od współczynnika  $k_e$

## 6. Wpływ grubości ekranu przeciwfiltracyjnego na warunki filtracji

W tym wariantcie obliczeń przyjęto, że grubość ekranu  $d_e$  może przyjmować wartości 0,25, 0,50, 0,75 oraz 1,00 m. Obliczenia wykonano dla dwóch wartości współczynnika filtracji ekranu:  $k_e = 0,0$  oraz 0,1 m/d.

Rysunek 4 pokazuje różnice położenia poziomu swobodnego dla ekranów nieprzepuszczalnych o grubości 1,00 oraz 0,25 m.



Rys. 4. Powierzchnia swobodna dla przekroju P10. Grubość ekranu 1,00 oraz 0,25 m,  $k_e = 0$

Tabela 3 zawiera dokładne wyniki obliczeń filtracji wykonane przy analizie wpływu grubości ekranu na parametry przepływu.

TABELA 3

**Wpływ grubości ekranu na parametry filtracji**

Przekrój	$k_e$ [m/d]	$d_e$ [m]	$U_e$ [m]	$v_{\max}$ [m/d]	$q$ [m <sup>3</sup> /d]
P10	0,0	1,00	2,42	1,01	0,45
		0,75	2,26	1,17	0,53
		0,50	2,00	1,18	0,69
		0,25	1,80	1,53	0,84
	0,1	1,00	1,50	0,34	1,21
		0,75	1,23	0,36	1,47
		0,50	0,81	0,26	1,96
		0,25	0,73	0,26	2,03
P11	0,0	1,00	2,26	0,84	0,95
		0,75	2,19	0,99	1,00
		0,50	2,08	1,09	1,07
		0,25	1,87	1,29	1,24
	0,1	1,00	1,59	0,38	1,68
		0,75	1,44	0,32	1,87
		0,50	1,17	0,36	2,08
		0,25	0,83	0,29	2,64

TABELA 3 cd.

Przekrój	$k_e$ [m/d]	$d_e$ [m]	$U_e$ [m]	$v_{\max}$ [m/d]	$q$ [m <sup>2</sup> /d]
P17	0,0	1,00	1,40	0,55	0,66
		0,75	1,32	0,6	0,69
		0,50	1,25	0,62	0,73
		0,25	1,17	0,8	0,76
	0,1	1,00	1,10	0,31	0,90
		0,75	1,00	0,36	0,95
		0,50	0,86	0,38	1,06
		0,25	0,65	0,24	1,23

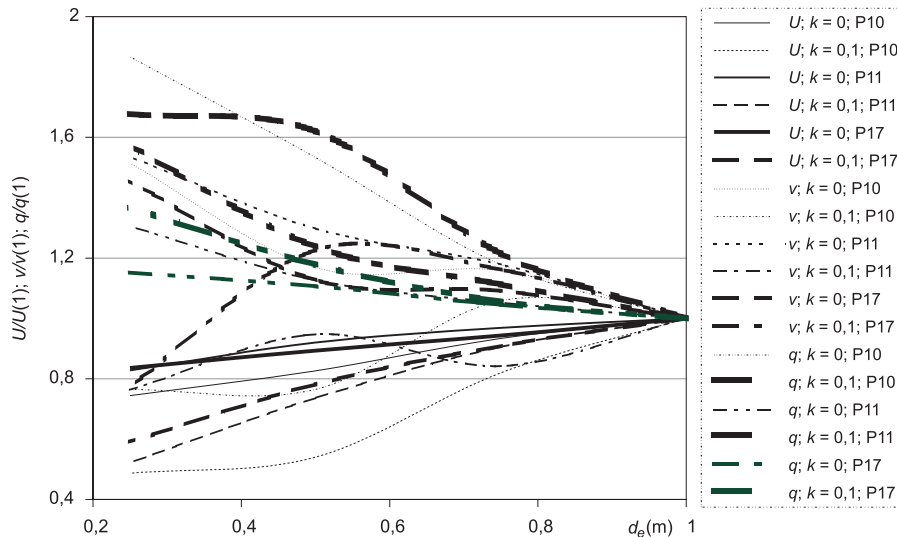
Zmniejszanie grubości ekranu powoduje wzrost przepływu i podniesienie się zwierciadła wód gruntowych (tj. zmniejszenie uskoku na ekranie), natomiast nie obserwuje się związku pomiędzy grubością ekranu a długością maksymalnego wektora przepływu pod ekranem. W celu lepszego zilustrowania zmienności charakterystyk przepływu sporządzono tabelę 4 oraz rysunek 5 pokazujące stosunek  $U_e$ ,  $v_{\max}$  oraz  $q$  uzyskanych przy najmniejszej z zakładanych grubości ekranu  $d_e = 0,25$  m do wartości uzyskanych w wariancie z ekranem grubości 1,0 m.

TABELA 4

**Stosunek parametrów**

Przekrój	$k_e$ [m/d]	$U_e(d_e = 0,25)/U_e(d_e = 1)$	$v_{\max}(d_e = 0,25)/v_{\max}(d_e = 1)$	$q(d_e = 0,25)/q(d_e = 1)$
P10	0,0	0,74	1,51	1,87
	0,1	0,48	0,76	1,67
P11	0,0	0,83	1,54	1,30
	0,1	0,52	0,76	1,57
P17	0,0	0,84	1,45	1,15
	0,1	0,59	0,77	1,36

Widać, że przy zmniejszaniu grubości ekranu z 1,00 do 0,25 m uskok na ekranie może zmniejszyć się do 50÷80% wartości początkowej, prędkość maksymalna może się zarówno zmniejszyć, jak i zwiększyć, natomiast przepływ przez warstwę może się prawie podwoić. Wszystkie parametry przepływu zachowują w przybliżeniu liniową zależność od grubości ekranu.



Rys. 5. Zależność ilorazu  $U/U(d_e = 1)$ ,  $v/v(d_e = 1)$  oraz  $q/q(d_e = 1)$  od grubości ekranu  $d_e$

## 7. Wnioski

- 1) Całkowity przepływ przez warstwę, uskok na ekranie uszczelniającym oraz maksymalny wektor przepływu pod ekranem zależą liniowo od współczynnika filtracji materiału użytego do wykonania ekranu.
- 2) Całkowity przepływ przez warstwę oraz uskok na ekranie uszczelniającym także zależą liniowo od grubości ekranu, natomiast maksymalny wektor przepływu pod ekranem takiej zależności nie potwierdza.
- 3) W zakresie zmienności grubości i przepuszczalności ekranu analizowanych w pracy można stwierdzić, że wartości charakterystycznych parametrów przepływu mogą się podwoić, a nawet potroić w stosunku do wartości uzyskanych w wariantach z ekranem nieprzepuszczalnym o grubości 1 m.
- 4) Dotrzymanie, na etapie wykonawstwa, parametrów ekranu zgodnie z projektem ma istotny wpływ na charakterystyki przepływu i na bezpieczeństwo projektowanej budowli ziemnej.

## LITERATURA

- [1] Atlas geologiczny Wrocławia w skali 1:25 000. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny 1974
- [2] Borys M., Mosiej K.: Wytyczne wykonywania ocen stanu technicznego i bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych. Falenty, Wydawnictwo IMUZ, 2005
- [3] Borys M.: Określenie parametrów tarcia na styku geosyntetyków i gruntów pod kątem budowy ekranów przeciwfiltracyjnych w wałach przeciwpowodziowych. III Konferencja Naukowa „Woda – Środowisko – Obszary wiejskie”, Falenty, Wydawnictwo IMUZ, 2007, 41–42



- [4] *Chalfen M.*: Opis programu FIZ — Filtracja i Zanieczyszczenia. XXXIII Seminarium Zastosowań Matematyki w Kobyłej Górze, 2003, 37–40
- [5] *Chalfen M., Molski T.*: Wpływ przesłony przeciwfiltracyjnej na warunki filtracji ziemnych budowli hydrotechnicznych. XXX ZSMGG, Prace Nauk. Inst. Geo. i Hydro. 76, seria Konferencje, 42, 2007, 131–143
- [6] Dokumentacja geotechniczna (techniczne badania podłoża gruntowego) dla terenu wału przeciwpowodziowego na osiedlu Kozanów we Wrocławiu od mostu Maślickiego, wzdłuż ulic: Nadrzecznej, Gwareckiej i Ignuta do siedziby Policji przy ul. Połbina. Przedsiębiorstwo Geologiczno-Geotechniczne i Budowlane. Wrocław, grudzień 2006
- [7] Projekt wału m. Wrocław (WWW nr 14) — projekt budowlany. Zakład Usług i Robót Wodnych Spółka z o.o. Ul. Oswalda Matei 4, Opole, wrzesień, 2007, 45–403
- [8] *Reinhard A.*: Ruch wody glebowej i gruntowej w strefach saturacji i aeracji wywołanych działaniem drenu w różnych warunkach atmosferycznych. Zesz. Nauk. AR Wroc. Rozp. Nr 103, 1992
- [9] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 20.12.1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie (Dz.U. z 1997 r. Nr 21, poz. 111)
- [10] „Wały przeciwpowodziowe — wytyczne instruktażowe projektowania” — Melioracje Wodne — biuletyn informacyjny, nr 2–3, Wydział Melioracji Wodnych i SGGW — AR, IV–IX, 1982
- [11] *Zaradny H.*: Seminarium: Nowe podejście do zagadnień ochrony przeciwpowodziowej. IBW PAN, 2004