

Mieczysław Chalfen, Jolanta Dąbrowska, Tadeusz Molski

**FILTRACJA WODY PRZEZ NOWY
I MODERNIZOWANY WAŁ PRZECIWPOWODZIOWY
ODRY W KOZANOWIE**

***SEEPAGE CONDITIONS IN NEW PROJECTED
AND MODERNIZED ANTIFLOOD EMBANKMENT
OF Odra RIVER AT KOZANOW***

Streszczenie

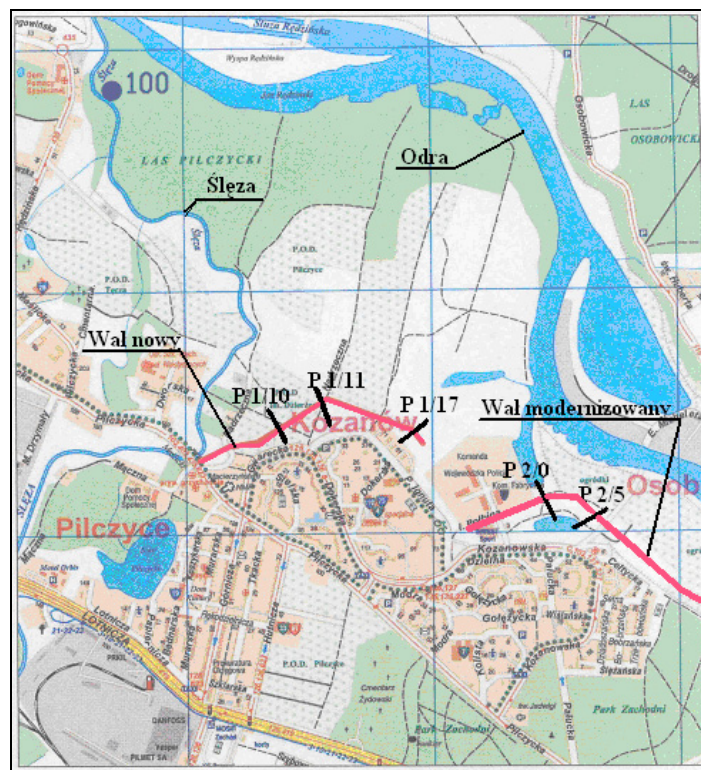
Matematyczne badania modelowe filtracji pozwoliły ocenić skuteczność ekranu i przesłony przeciw filtracyjnej dla bezpiecznego ograniczenia filtracji nowego i modernizowanego wału przeciwpowodziowego Odry, ochraniającego osiedle Kozanów we Wrocławiu. Stwierdzono, że natężenie przepływu wzrasta o ok. 15–75% przy zmianie współczynnika filtracji $k_c = 0–0,1 \text{ m d}^{-1}$ w przekrojach jednorodnych, a w przekrojach niejednorodnych o ok. 60–200%. Jeżeli korpus wału charakteryzuje się większą przepuszczalnością od podłoża, to wpływ wodoprzepuszczalności ekranu na natężenie przepływu przez przekrój wzrasta. Zmiana grubości ekranu gruntowego w zakresie $d_e = 0,25–1,0 \text{ m}$ zmniejsza natężenie przepływu przez przekroje jednorodne wału z podłożem o ok. 10–30%, natomiast w przekrojach niejednorodnych o ok. 30–100% w powiązaniu z wodoprzepuszczalnością i sposobem załęgania poszczególnych warstw gruntu w przekrojach.

Summary

Antiflow screens are often used to improve seepage conditions through earth hydrotechnique constructions. Mathematical researches of seepage allowed, during project works, to estimate these construction components efficiency and establish useful variant for protecting safety of new projected and modernized antiflood embankment Odra river at Kozanów. Increase seepage coefficient from 0 to 0.1 m d^{-1} cause flow increase by 15–75% for homogeneous and by 60–200% for anhomogeneous cross-section. Otherwise, increase thickness of earth screen from 0,25 to 1,00 m cause flow decrease by 10–30% for homogeneous and by 30–100% for anhomogeneous cross-section.

WSTĘP

Bezpieczna eksploatacja ziemnych budowli hydrotechnicznych w dużym stopniu zależy od warunków filtracji wody przez budowlę i jej podłoże [Borys, Mosiej 2005; Borys 2007; Wały przeciwpowodziowe... 1982; Zaradny 2004]. Dla ograniczenia filtracji stosowane są dodatkowe przeciwfiltracyjne elementy konstrukcyjne, między innymi ekran i przesłona [Chalfen, Molski 2007, 2008; Rozporządzenie... 1997]. Analizą skuteczności powyższych elementów konstrukcyjnych objęte zostały odcinki nr 1 nowo projektowanego oraz nr 2 modernizowanego wału przeciwpowodziowego ochraniającego osiedle Kozanów we Wrocławiu (rys. 1).



Rysunek 1. Lokalizacja nowego i modernizowanego wału przeciwpowodziowego
Figure 1. Localization of new and modernized antiflood embankment

CEL I ZAKRES PRACY

Na etapie prac projektowych związanych z budową nowego i modernizacją wału przeciwpowodziowego dokonano analizy warunków filtracji przez korpus i podłoże wału przy uwzględnieniu przewidywanych w projekcie technicznych elementów konstrukcyjnych. Wykonane badania posłużyły przyjęciu rozwiązań projektowych warunkujących bezpieczną eksploatację obiektu. Zakres badań obejmuje analizę warunków filtracji dla trzech typowych przekrojów poprzecznych odcinka nr 1 wału nowego oraz dla dwóch przekrojów odcinka nr 2 wału modernizowanego.

Praca obejmuje również wyniki badań modelowych skuteczności gruntowego ekranu o różnej grubości i przepuszczalności.

WARUNKI GEOLOGICZNE I HYDROGEOLOGICZNE

Teren, przez który przebiegają odcinki nr 1 i 2, odpowiednio nowo projektowanego i modernizowanego lewobrzeżnego wału przeciwpowodziowego Odry, znajduje się na obrzeżach wrocławskich osiedli Pilczyce i Kozanów.

Z geomorfologicznego punktu widzenia rozpatrywany teren stanowi fragment dolin rzecznych Ślęzy i Odry. Na podstawie dokumentacji geotechnicznej [Dokumentacja... 2006] stwierdzono, że objęty badaniami teren budują czwartorzędowe rodzime utwory wykształcone litologicznie genetycznie jako: osady madowe i osady gliniaste tarasów zalewowych wyższych; piaski i żwiry z wkładkami glin tarasu zalewowego wyższego i tarasu nadzalewowego oraz gliny zwałowe. Pod czwartorzędem zalegają trzeciorzędowe rodzime utwory jako ropy i mułki. Powierzchniowo zalega gleba o miąższości 0,4–0,6 m. W części zachodniej terenu występuje nasyp mineralny kontrolowany grubości ok. 2,5 m. We wschodniej części terenu w strefie przypowierzchniowej występują utwory o charakterze niekontrolowanych nasypów mineralnych lub mineralno-gruzowych. Teren lokalizacji wału położony jest w obrębie jednej jednostki hydrograficznej zlewni Odry z dopływem Ślęzy. W konsekwencji główne kierunki spływu wód powierzchniowych w dolinie rzecznej są na ogół zgodne ze spadkiem terenu. Odpływ wód gruntowych odbywa się w różnych kierunkach, w zależności od litologii wykształcenia, sposobu zalegania a także konfiguracji stropu i spągu warstw o zróżnicowanej przepuszczalności. Badania i obserwacje hydrogeologiczne [Dokumentacja... 2006; Projekt... 2007] na rozpatrywanym terenie dokumentują:

– pierwszy poziom wód podziemnych o zwierciadle swobodnym występuje w podłożu zbudowanym z zaglinionych piaszczysto-żwirowych utworów na głębokości 2,2–6,5 m. Udokumentowane zwierciadło pierwszego poziomu wód podziemnych odpowiada rejestrowanemu poziomowi wód Odry przy stanie niskim,

– sączenia wody gruntowej na głębokości ok. 0,9–1,1 m występujące okresowo są zależne od nasilenia opadów atmosferycznych, infiltracji wód powierzchniowych w głąb podłoża i jego przepuszczalności.

Udokumentowany pierwszy poziom wód podziemnych charakteryzuje się (w ujęciu kilkuletnim) dużą zmiennością wahań poziomu zalegania zwierciadła wody.

OBLICZENIA FILTRACJI W TYPOWYCH PRZEKROJACH POPRZECZNYCH WAŁU

Matematyczny model obliczeń filtracji. Podstawą matematycznego modelu filtracji w dwuwymiarowym pionowym przekroju przez warstwę wodonośną jest równanie Richardsa [Reinhard 1992]

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

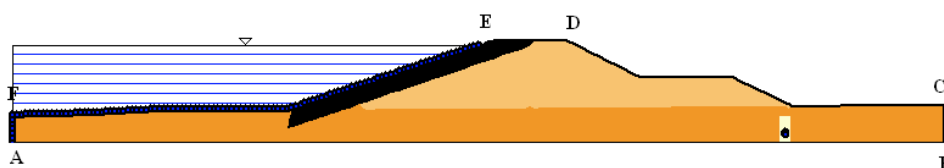
gdzie:

- x, z – zmienne przestrzenne,
- t – czas,
- h(x,z,t) – wysokość piezometryczna,
- p – wysokość ciśnienia,
- K(p) – przewodność hydrauliczna,
- C – różniczkowa pojemność wodna,
- S_s – pojemność sprężysta,
- β – współczynnik,
- S – funkcja źródłowa,
- h = z+p.

W analizowanych przekrojach obszar filtracji tworzy korpus i podłoże wału przeciwpowodziowego od powierzchni terenu aż do stropu warstwy nieprzepuszczalnej. Przy braku przypowierzchniowej warstwy nieprzepuszczalnej, zjawisko filtracji ma charakter swobodny. W pracy analizuje się ruch ustalony i w konsekwencji przyjęto, że lewa strona równania (1) równa się 0. Dodatkowo założono, że w analizowanym obszarze filtracji nie ma zewnętrznych źródeł zasilania, tzn. S = 0. Funkcję przewodności hydraulicznej K(p) przyjęto wg propozycji van Keulena i Wolfa [Chalfen 2003; Reinhard 1992; Wosiewicz, Walczak 2005]. Równanie (1) uzupełniono warunkami brzegowymi Dirichleta i Neumana [Chalfen 2003; Reinhard 1992; Wosiewicz, Walczak 2005].

Na polderze zalewowym i skarpie odwodnej EF przyjęto warunek Dirichleta z wysokością piezometryczną zgodną ze stanem wody w cieku. Na skarpie odpowietrznej CD założono warunek Dirichleta h = z, odpowiadający wysokości

ciśnienia $p = 0$. W modelu warunek ten jest aktywowany w momencie, gdy w danym punkcie na skarpie odpowietrznej wysokość piezometryczna osiągnie wartość równą wysokości położenia. Dzięki tak skonstruowanemu warunkowi brzegowemu uzyskuje się strefę wysięku na skarpie odpowietrznej opisaną poprzez warunek $p = 0$. Na pozostałych odcinkach brzegu FABC przyjęto warunek Neumana z natężeniem przepływu $q = 0$. Na koronie wału DE zadano również warunek $q = 0$, co jest równoznaczne przyjęciu założenia, że zasilanie infiltracyjne z opadów bilansuje się, w warunkach ruchu ustalonego, z parowaniem terenowym. Otrzymane zagadnienie różniczkowe rozwiązano metodą elementów skończonych z podziałem obszaru filtracji na elementy trójkątne i z wykorzystaniem liniowych funkcji bazowych. Jako rozwiązanie otrzymano wysokości piezometryczne w każdym węźle siatki dyskretyzacyjnej, a na tej podstawie wyznaczono linie ekwipotencjalne, linie prądu oraz natężenie przepływu wody przez cały przekrój. Powierzchnię swobodnego zwierciadła wód gruntowych wyznaczono z warunku $h = z$ [Reinhard 1992; Rembeza 2007]. W obliczeniach wykorzystano autorski program komputerowy FIZ (Filtracja i Zanieczyszczenia) [Chalfen 2003].



Rysunek 2. Przyjęte warunki brzegowe
Figure 2. Assumed boundary conditions

Schematy obliczeń filtracji w typowych przekrojach. Dla reprezentatywnych, charakterystycznych przekrojów poprzecznych [Dokumentacja... 2006; Projekt... 2007] przyjęto schematy obliczeniowe filtracji, uwzględniające warunki hydrogeologiczne, odpowiednio:

wał nowy – odcinek nr 1

- dla przekroju poprzecznego P 1/10 – schemat obliczeniowy w wariantcie I,
- dla przekroju poprzecznego P 1/11 – schemat obliczeniowy II/1, II/2a, II/2b, II/3a oraz II/3b,
- dla przekroju poprzecznego P 1/17 – schemat obliczeniowy w wariantcie III.

wał modernizowany – odcinek nr 2

- dla przekroju P 2/0 (oczko wodne – basen portowy) – schemat obliczeniowy I/1, I/2 i I/3,
- dla przekroju P 2/5 (oczko wodne – taras zalewowy) – schemat obliczeniowy II/1, II/2, II/3, II/4, II/5 oraz II/6.

WYNIKI MATEMATYCZNYCH OBLICZEŃ FILTRACJI

Komputerowe obliczenia filtracji wykonano w trzech przekrojach poprzecznych wału nowego nr 1 dla 7. wariantów hydrogeologicznych oraz w dwóch przekrojach poprzecznych wału modernizowanego nr 2 dla 9. wariantów. We wszystkich wariantach obliczeniowych przyjęto poziom wody powodziowej odpowiadający wodzie kontrolnej rz. Odry [Dokumentacja... 2006; Projekt... 2007]. Założono, że istnieje możliwość odprowadzenia wody z drenażu. Jako warunek początkowy przyjęto poziom wody gruntowej 0,5 m ppt. Wyniki obliczeń zawierają tabela 1 dla wału nowego oraz tabela 2 dla wału modernizowanego, przyjmując następujące oznaczenia:

- M_p – miąższość wodoprzepuszczalnego podłoża wału [m],
- L_w – długość wysięku na skarpie odpowietrznej [m],
- Q – natężenie przepływu przez 1 mb wału z podłożem [$m^3 \cdot d^{-1} \cdot m^{-1}$],
- q_d – natężenie dopływu na 1 mb drenażu [$m^3 \cdot d^{-1} \cdot m^{-1}$],
- Δh_d – najmniejsza głębokość zalegania krzywej depresji pod drogą na skarpie odpowietrznej [m],
- Δh_e – uskok na ekranie [m],
- Δh_p – uskok na przeponie [m],
- Δh_x – głębokość położenia krzywej depresji w przekroju X - X [m],
- T – czas ustalania się procesu filtracji [d].

W przekrojach poprzecznych wału nowego przyjęto wartości współczynnika filtracji dla korpusu wału $k = 10,0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, a dla podłoża $k = 1,0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$.

Tabela 1. Wartości hydrodynamiczne pola filtracji z obliczeń komputerowych - wał nowy nr 1

Table 1. Computed hydrodynamics characterization – new embankment nr 1

| Wariant | T [d] | q_d [$m^3 \cdot d^{-1} \cdot m^{-1}$] | Δh_d [m] | Δh_e [m] | M_p [m] | Opis wariantu Wydruk obliczeń (rys. nr) |
|---------|-------|---|------------------|------------------|-----------|---|
| I | 50 | 0,38 | 1,32 | 2,38 | 1,8 | przekrój P1/10, z ekranem $k=0$, bez fartucha, bez przesłony, z drenażem, rys. 3. |
| II/1 | 42 | 0,86 | 1,37 | 2,22 | 4,5 | przekrój P1/11, z ekranem $k = 0$, bez fartucha, bez przesłony, z drenażem, rys. 4 |
| II/2a | 42 | 1,71 | 0,76 | 1,54 | 4,5 | przekrój P1/11, z ekranem $k = 0,1$, bez fartucha, bez przesłony, z drenażem |
| II/2b | 90 | 1,72 | 0,75 | 1,54 | 4,5 | przekrój P1/11, z ekranem $k = 0,1$, bez fartucha, bez przesłony, z drenażem |
| II/3a | 42 | 0,91 | 1,42 | 2,25 | 4,5 | przekrój P1/11, z ekranem $k = 0,001$, bez fartucha, bez przesłony, z drenażem |
| II/3b | 90 | 0,91 | 1,34 | 2,21 | 4,5 | przekrój P1/11, z ekranem $k = 0,001$, bez fartucha, bez przesłony, z drenażem |
| III | 30 | 0,59 | 1,54 | 1,36 | 4,6 | przekrój P1/17, z ekranem $k = 0$, bez fartucha, bez przesłony, z drenażem, rys. 5 |

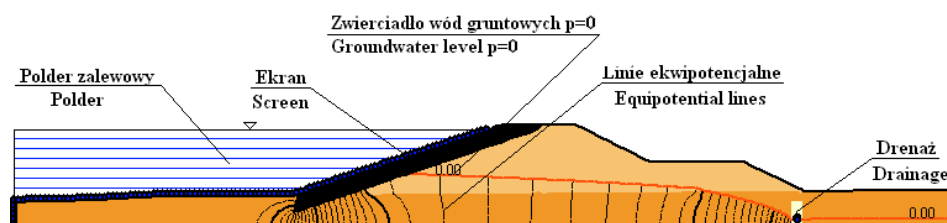
W przekrojach poprzecznych wału modernizowanego wartości współczynnika filtracji wynosiły odpowiednio 5, 15 i 50 $m \cdot d^{-1}$ przy rzędnej spągu warstwy wodonośnej 94 m n.p.m. Przyjęto, że woda kontrolna rz. Odry wynosi $H_k = 115,54$ m n.p.m., poziom wody w „oczku wodnym” określono na 110,20 m n.p.m. [Dokumentacja... 2006].

Graficznym obrazem matematycznych obliczeń są wykresy linii ekwipotencjalnych pola filtracji oraz powierzchni swobodnej (rys. 3–7).

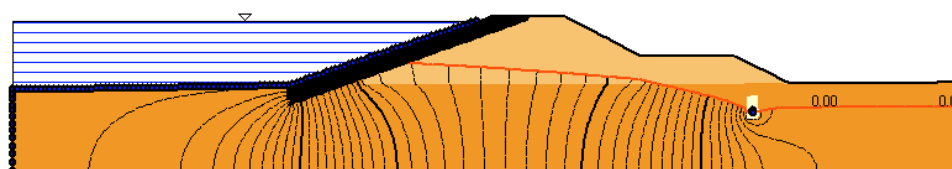
Tabela 2. Wartości hydrodynamiczne filtracji z obliczeń komputerowych – wał modernizowany nr 2

Table 2. Computed hydrodynamics characterization – modernized embankment nr 2

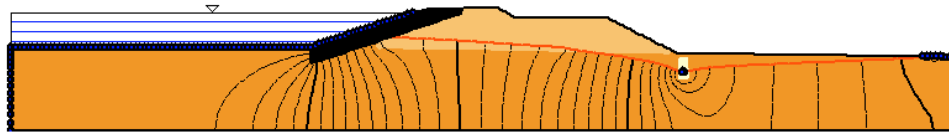
| Wariant | Δh_x | Lw | q | Δh_p | Δh_e | Opis wariantu Wydruk obliczeń (rys. nr) |
|---------|--------------|------|------|--------------|--------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| I/1 | 0,88 | 0,00 | 0,30 | | | przekrój 2/0, bez przesłony i ekranu |
| I/2 | 1,00 | 0,00 | 0,29 | | 1,03 | przekrój 2/0, ekran na skarpie od rz. Odry |
| I/3 | 0,77 | 0,00 | 0,30 | 0,40 | | przekrój 2/0, przesłona w osi wału $T_p = 9$ m, rys. 6 |
| II/1 | 0,27 | 2,50 | 0,69 | | 1,52 | przekrój 2/5, ekran, przesłona $T_p = 4$ m |
| II/1 | 0,29 | 2,50 | 0,69 | | 1,65 | przekrój 2/5, ekran, przesłona $T_p = 6$ m |
| II/3 | 0,26 | 2,50 | 0,69 | | 1,47 | przekrój 2/5, ekran bez przesłony |
| II/4 | 0,29 | 2,50 | 0,68 | | 1,57 | przekrój 2/5, ekran, fartuch $L_f = 5$, bez przesłony |
| II/5 | 0,65 | 2,00 | 0,78 | | | przekrój 2/5, ekranu i przesłony, drenaż 110,30, rys. 7 |
| II/6 | 0,38 | 2,00 | 0,76 | | | przekrój 2/5, bez ekranu i przesłony, drenaż 110,85 |



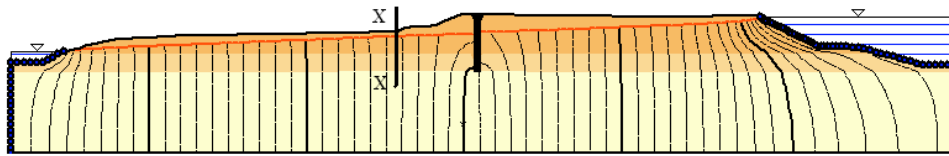
Rysunek 3. Linie ekwipotencjalne pola filtracji – wariant I (odcinek nr 1)
Figure 3. Equipotential lines – variant I (segment nr 1)



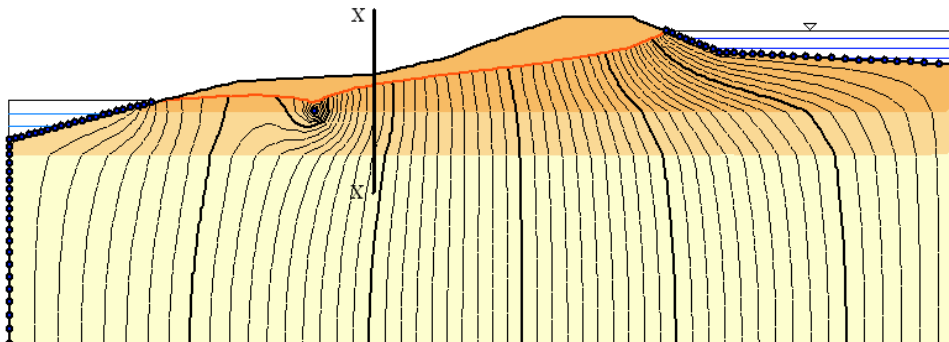
Rysunek 4. Linie ekwipotencjalne pola filtracji – wariant II/I (odcinek nr 1)
Figure 4. Equipotential lines – variant II/I (segment nr 1)



Rysunek 5. Linie ekwipotencjalne pola filtracji – wariant III (odcinek nr 1)
Figure 5. Equipotential lines – variant III (segment nr 1)



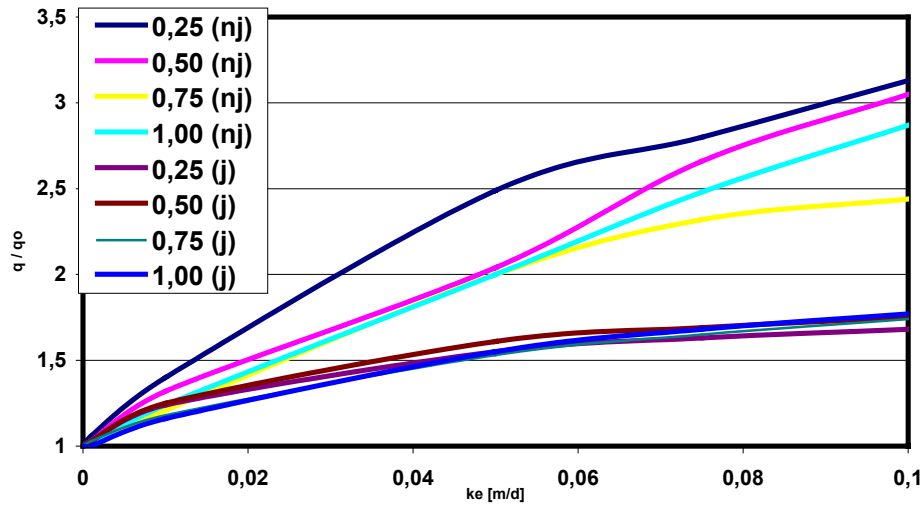
Rysunek 6. Linie ekwipotencjalne pola filtracji – wariant I/3 (odcinek nr 2)
Figure 6. Equipotential lines – variant I/3 (segment nr 2)



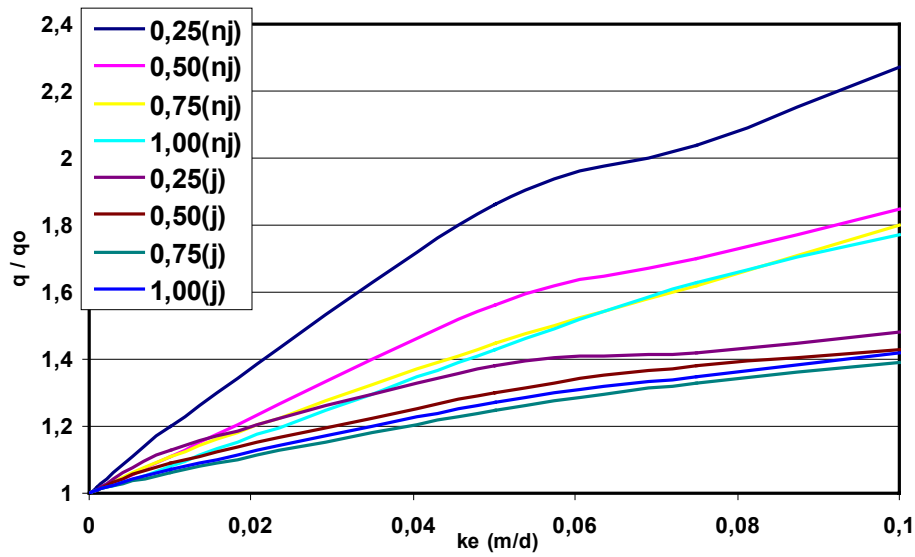
Rysunek 7. Linie ekwipotencjalne pola filtracji – wariant II/5 (odcinek nr 2)
Figure 7. Equipotential lines – variant II/5 (segment nr 2)

WPLYW PRZEPUSZCZALNOŚCI I GRUBOŚCI EKRANU GRUNTOWEGO NA NATĘŻENIE FILTRACJI

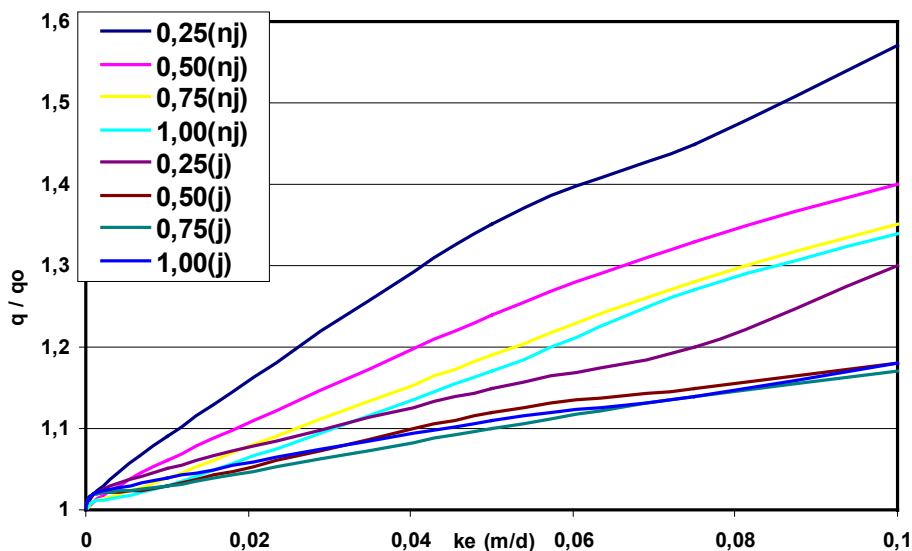
Matematycznymi badaniami modelowymi objęto analizę wpływu przepuszczalności oraz grubości ekranu gruntowego na natężenie przepływu przez korpus i podłoże wału [Chalfen, Molski 2007, 2008; Rembeza 2007; Wosiewicz, Walczak 2005], stanowiące ośrodek niejednorodny (n_j) lub jednorodny (j). Strukturę uwarstwienia zilustrowano na rysunkach 3–7. Zależności natężenia przepływu od współczynnika filtracji ekranu dla ośrodka niejednorodnego i jednorodnego przedstawiają rysunki 8–10.



Rysunek 8. Zależności $q/q_0(k_e)$ dla przekroju P 1/10
 Figure 8. Relationship $q/q_0(k_e)$ for cross-section P 1/10



Rysunek 9. Zależności $q/q_0(k_e)$ dla przekroju P 1/11
 Figure 9. Relationship $q/q_0(k_e)$ for cross-section P 1/11

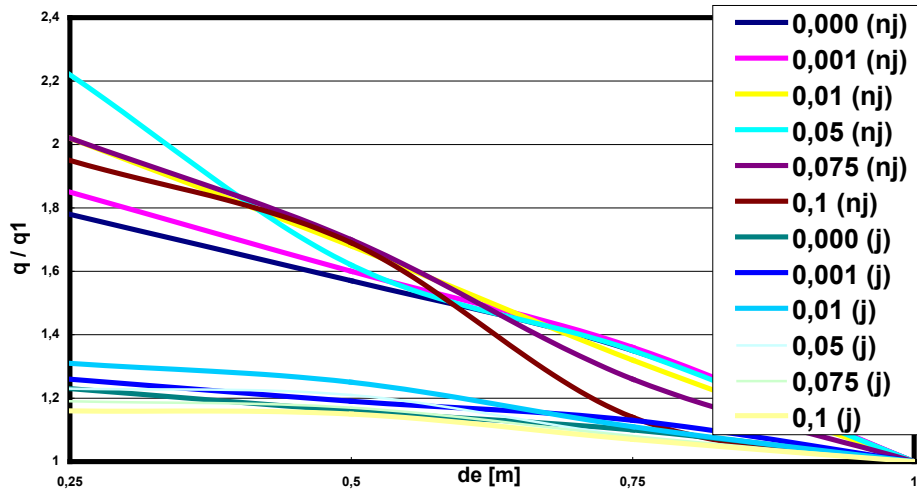


Rysunek 10. Zależności $q/q_0(ke)$ dla przekroju P 1/17
Figure 10. Relationship $q/q_0(ke)$ for cross-section P 1/17

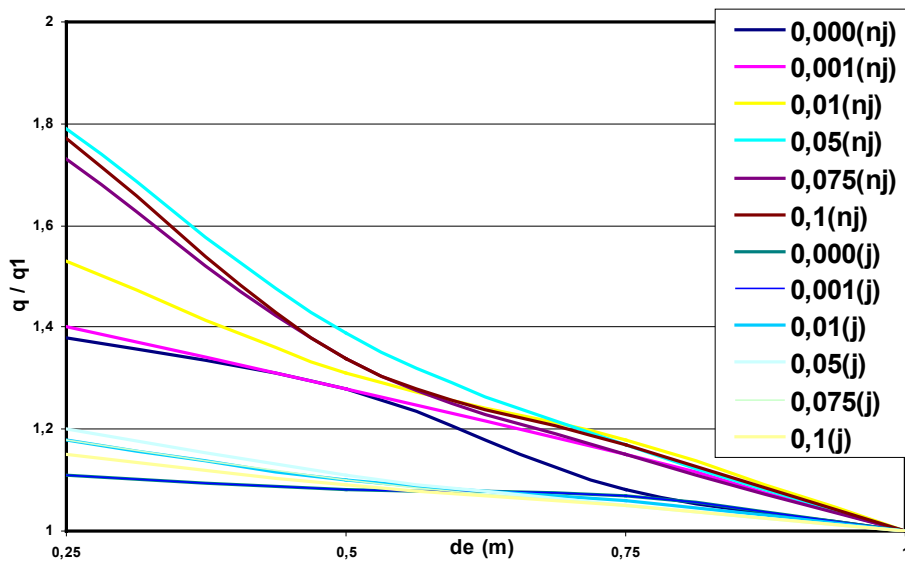
Oddziaływanie ekranu o różnej przepuszczalności na przepływ w warunkach przekroju uwarstwionego uzależnione jest głównie od wzajemnego usytuowania ekranu, podłoża i poszczególnych warstw gruntowych charakteryzujących się różną wodoprzepuszczalnością. W przypadku przekroju jednorodnego wpływ przepuszczalności ekranu na natężenie przepływu przez wał jest mniej zróżnicowany.

Rysunki 11–13 zawierają wyniki badań zależności natężenia przepływu od grubości ekranu d_e dla przekroju niejednorodnego i jednorodnego.

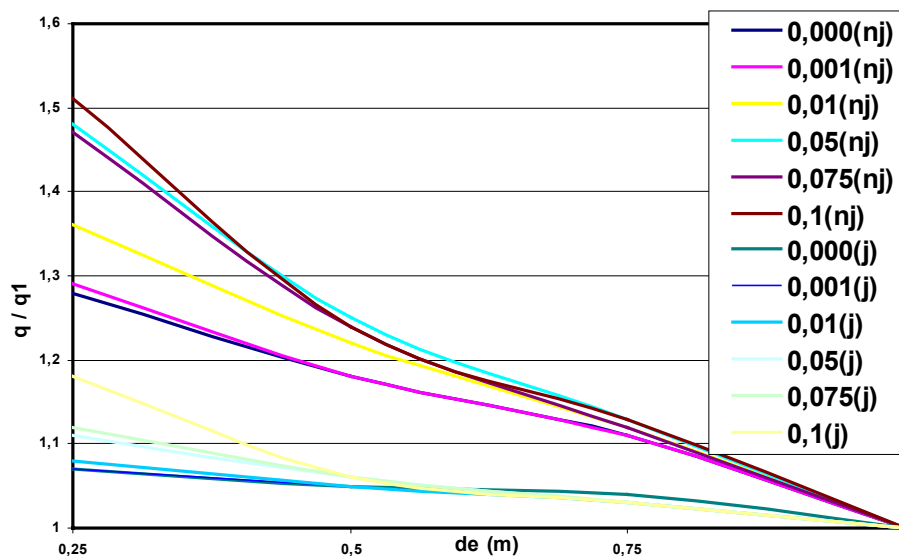
W jednorodnym przekroju wału z podłożem zmiana grubości ekranu gruntowego w zakresie 0,25–1,0 m powoduje zmniejszenie natężenia przepływu o ok. 10%. Natomiast w przekroju niejednorodnym o ok. 30–50 % uwarunkowane wodoprzepuszczalnością poszczególnych warstw w przekroju oraz ekranu gruntowego. Jeżeli korpus wału charakteryzuje się większą wodoprzepuszczalnością niż podłoże, to wpływ ekranu na natężenie przepływu przez przekrój jest większy, niż w przypadku bardziej przepuszczalnego podłoża.



Rysunek 11. Zależności $q/q_1(d_e)$ dla przekroju P 1/10
Figure 11. Relationship $q/q_1(d_e)$ for cross-section P 1/10



Rysunek 12. Zależności $q/q_1(d_e)$ dla przekroju P 1/11
Figure 12. Relationship $q/q_1(d_e)$ for cross-section P 1/11



Rysunek 13. Zależności $q/q_1(de)$ dla przekroju P 1/17
Figure 13. Relationship $q/q_1(de)$ for cross-section P 1/17

WNIOSKI KOŃCOWE

1. Wyniki matematycznych obliczeń filtracji w przekrojach poprzecznych pozwoliły na szeroką analizę wartości hydrodynamicznych filtracji przez korpus wału i podłoża w przyjętych warunkach hydrogeologicznych przy uwzględnieniu różnych elementów konstrukcyjnych wału. Uzyskane wartości pozwalają na etapie projektowania optymalnie zwymiarować urządzenia odwadniające.

2. Uwzględnienie w projekcie drenażu u podnóża skarpy odpowietrznej zabezpiecza przed powstaniem strefy wysięku, poprawia warunki wypływu w powierzchniowej strefie wypływu na zawalu oraz obniża krzywą depresji w korpusie wału.

3. Przyjęcie w komputerowych obliczeniach filtracji ustalonych warunków brzegowych było możliwe przy założeniu, że istnieje możliwość odpływu wody na zawalu.

4. Natężenie przepływu wzrasta o ok. 15–75% przy zmianie współczynnika filtracji $k_e = 0-0,1 \text{ m d}^{-1}$ w przekrojach jednorodnych, a w przekrojach niejednorodnych o ok. 60–200%. Jeżeli korpus wału charakteryzuje się większą przepuszczalnością od podłoża, to wpływ wodoprzepuszczalności ekranu na natężenie przepływu przez przekrój jest większy (rys. 8–10).

5. Zmiana grubości ekranu gruntowego w zakresie 0,25–1,0 m zmniejsza natężenie przepływu przez jednorodne przekroje wału z podłożem o ok.

10–30%, natomiast w przekrojach niejednorodnych o ok. 30–100% (rys. 11–13) w powiązaniu z wodoprzepuszczalnością i sposobem zalegania poszczególnych warstw gruntu w przekrojach.

6. Wyniki analizy oddziaływania różnych elementów konstrukcyjnych wału (ekranu, drenażu) na warunki filtracyjne w badanych wariantach (tab. 1, 2) pozwala na przyjęcie przekroju projektowego, stwarzającego warunki bezpiecznej eksploatacji obiektu.

BIBLIOGRAFIA

- Borys M., Mosiej K. *Wytyczne wykonywania ocen stanu technicznego i bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych*. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, 2005.
- 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”, IMUZ Falenty, s. 41–42, 2007.
- Chalfen M. *Opis programu FIZ – Filtracja i Zanieczyszczenia*. XXXIII Seminarium Zastosowań Matematyki w Kobylej Górze, s. 37–40, 2003.
- Chalfen M., Molski T. *Wpływ przesłony przeciwfiltracyjnej na warunki filtracji ziemnych budowli hydrotechnicznych*. XXX ZSMGG, Prace Nauk. Inst. Geo. i Hydro. PWr 76, seria Konferencje 42, s. 131–143, 2007.
- Chalfen M., Molski T. *Wpływ parametrów ekranu gruntowego na warunki filtracji*. Górnictwo i Geoinżynieria, Wyd. AGH Kraków, z. 2, s. 79–88, 2008.
- 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 2006.
- Projekt wału m. Wrocław (WWW nr 14)- projekt budowlany*. Zakład Usług i Robót Wodnych Spółka z o.o. Ul. Oswalda Matei 4, s. 45-403, Opole 2007.
- Reinhard A. *Ruch wody glebowej i gruntowej w strefach saturacji i aeracji wywołanych działaniem drenu w różnych warunkach atmosferycznych*. Zesz. Nauk. AR Wrocław. Rozp. Nr 103, 1992.
- Rembeza L. *Nieustalony przepływ filtracyjny przez wał przeciwpowodziowy z uszczelnieniami*. Gosp. Wod. 9, s.380–382, 2007.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska*. Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 20.12.1996r w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie – Dz.U. Nr 21/1997, p. 111.
- Wały przeciwpowodziowe – wytyczne instruktażowe projektowania – Melioracje Wodne – biuletyn informacyjny nr 2–3*, Wydział Melioracji Wodnych SGGW – AR, IV–IX 1982.
- Wosiewicz B., Walczak Z., *Filtracja pod budowlą piętrzącą z pionową przesłoną uszczelniającą*. Gosp. Wod. 9, s. 359–366, 2005.
- Zaradny H. *Seminarium: Nowe podejście do zagadnień ochrony przeciwpowodziowej*. IBW PAN, 2004.

Mieczysław Chalfen
Katedra Matematyki
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
tel. 0-71 3205633
mieczyslaw.chalfen@up.wroc.pl

Mieczysław Chalfen, Jolanta Dąbrowska, Tadeusz Molski

Jolanta Dąbrowska
Instytut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
tel. 0-71 3205544
dabrowska@iis.ar.wroc.pl

Tadeusz Molski
Instytut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
tel. 0-71 3205586
molski@iis.ar.wroc.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka*