

ZBIGNIEW SROKA, BOGDAN J. WOSIEWICZ, ZBIGNIEW WALCZAK

Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

ANALIZA FILTRACJI PRZEZ MODERNIZOWANY WAŁ PRZECIWPOWODZIOWY NA WIŚLE

Streszczenie. Badano zjawisko filtracji na dwunastokilometrowym odcinku modernizowanego obwałowania Wisły na Nizinie Ciechocińskiej. Szczegółowo rozpatrzono dwa projektowane rozwiązania uszczelnienia wału: 1) pionową przesłonę umieszczoną w osi wału, 2) ściankę szczelną w stopie oraz ekran na skarpie. Celem obliczeń było wyznaczenie parametrów przepływu filtracyjnego, które mogą posłużyć jako kryterium wyboru optymalnego wariantu modernizacji. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych. Wyznaczono natężenie przepływu filtracyjnego przez wał i podłoże, średni gradient hydrauliczny oraz czas przejścia wody z koryta rzeki na zawale. Uzyskane wyniki mogą stanowić dla inwestora podstawę wyboru wariantu rozwiązania konstrukcyjnego do realizacji.

Słowa kluczowe: filtracja, wały przeciwpowodziowe, modelowanie numeryczne

Wstęp

Analizowano zjawisko filtracji na dwunastokilometrowym odcinku modernizowanego obwałowania Wisły na Nizinie Ciechocińskiej. Filtrację przez wał i podłoże analizowano jako zagadnienie płaskie (w przekroju pionowym) i ustalone w czasie. W analizie uwzględniono zarówno strefę pełnego, jak i niepełnego nasycenia. Celem obliczeń było określenie całkowitego wydatku filtracyjnego przez korpus wału i podłoże, wyznaczenie rozkładu gradientów hydraulicznych (lokalnych) przy stopie skarpy odpowietrzonej oraz jego uśrednionej wartości (dla całego korpusu). Ustalono także najkrótszy czas przejścia wody z międzywala na zawale, który można potraktować jako wielkość charakterystyczną budowli. Szczegółową analizę przeprowadzono dla dwóch projektowanych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwfiltracyjnych (MODERNIZACJA... 2008):

- wariant A to pionowa przesłona umieszczona w osi wału,
- wariant B to ścianka szczelna wbita w stopie skarpy odwodnej oraz ekran (bentomata) na skarpie.

Wykonano także dodatkowe obliczenia (wariant C), przyjmując wydłużoną o 4,0 m, w stosunku do wariantu A przesłoną przeciwnfiltracyjną. Rzędnią zwierciadła wody w międzywałiu przyjęto jak dla przepływu tysiącletniego ($Q_{0,1\%}$), a na zawalu na poziomie terenu przy stopie skarpy odpowietrznej.

Material i metody

Przy budowie modeli numerycznych wykorzystano dokumentację projektową (MODERNIZACJA... 2008) oraz badania geologiczno-geotechniczne analizowanego odcinka obwałowania (BADANIA... 2007), dokumentację badań geotechnicznych poszczególnych przekrojów wałów (PRZEKROJE... 2008) oraz operat oceny stanu technicznego wałów (OCENA... 2005), udostępnione przez Biuro Projektów Wodnych Melioracji i Inżynierii Środowiska „BIPROWODMEL” sp. z o.o. w Poznaniu.

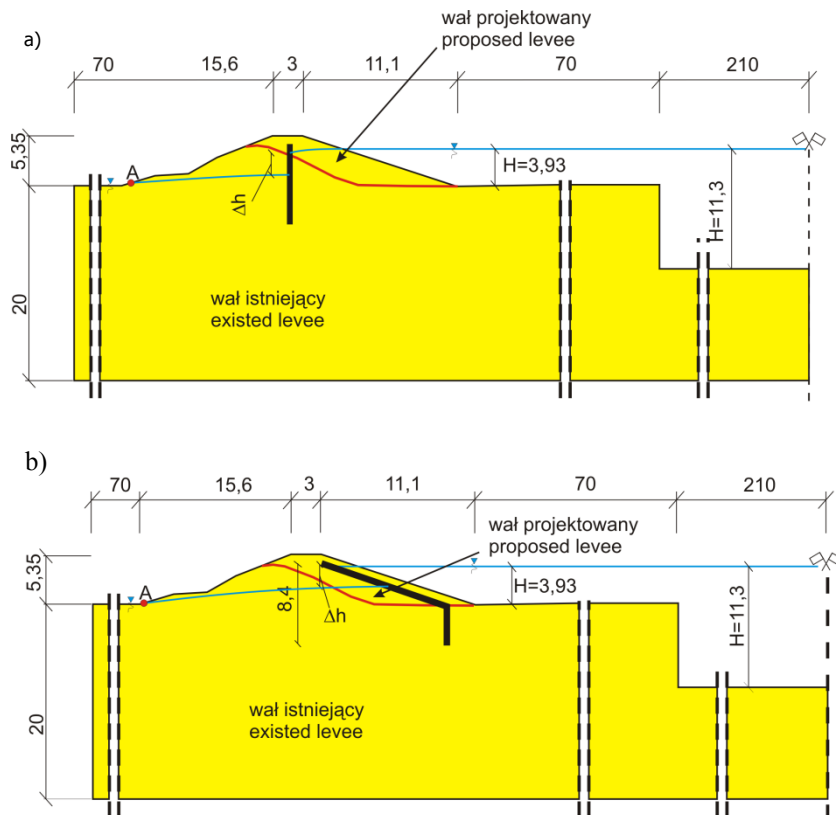
Do szczegółowych obliczeń i analiz wybrano dwa charakterystyczne przekroje poprzeczne przez wał, a mianowicie przekrój nr 26 w kilometrze 2+015 oraz przekrój nr 83 w kilometrze 7+308 (według oznaczeń z dokumentacji projektowej). W przekroju nr 26 (rys. 1) wał znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie koryta głównego Wisły, zaledwie około 70 m od jego brzegu. W drugim z wytypowanych przekrojów oddalony jest od rzeki o około 150 m. Szerokość Wisły na poziomie wody brzegowej wynosi w analizowanych przekrojach odpowiednio 425 m oraz 525 m.

Wał posadowiony jest na gruncie przepuszczalnym, którego miąższość nie została określona w dostępnej dokumentacji geotechnicznej. Do obliczeń założono, że miąższość warstwy przepuszczalnej jest znaczna i wynosi 20 m. Biorąc pod uwagę opracowany projekt techniczny, który zakłada pobór gruntu z koryta Wisły, dno rzeki w analizowanych przekrojach przyjęto na poziomie rzędnej odpowiadającej granicy pozysku kruszywa. Obliczeniowa różnica między wodą górną a dolną w przekroju nr 26 wynosiła 3,9 m, a 4,1 m w przekroju nr 83.

Analiza materiałów źródłowych wykazała bardzo duże zróżnicowanie gruntów zarówno w korpusie istniejącego wału, jak i w podłożu. Zalegające grunty – głównie piaski, cechują się dużą przepuszczalnością, a występujące utwory słaboprzepuszczalne nie tworzą ciągłych warstw. W cytowanej dokumentacji geotechnicznej na poszczególnych odcinkach wału określono przedziały zmienności współczynnika filtracji, które wynoszą od 0,1 do 2,0 m/d w korpusie wału oraz od 0,1 do 10 m/d w jego podłożu. Z uwagi na tak szeroki przedział zmienności współczynnika filtracji (na granicach przedziału różnią się nawet dwa rzędy wielkości) zdecydowano o przyjęciu do analizy w całym obszarze przepływu (zarówno w korpusie, jak i w podłożu) jednorodności właściwości filtracyjnych o stałym współczynniku filtracji równym $k = 10$ m/d. Dzięki temu obliczone natężenie przepływu jest górnym oszacowaniem jego rzeczywistej wartości.

Dla ośrodka gruntowego w strefie niepełnego nasycenia przyjęto z literatury typową dla piasków zależność relatywnej przewodności hydraulicznej od ciśnienia ssącego (FREDLUND i RAHARDJO 1993). Niezbędną przy wyznaczaniu czasu przejścia z międzywałia na zawale porowatość gruntu oszacowano na 0,25 (PORADNIK... 1971).

Analizowano dwa warianty uszczelnienia (MODERNIZACJA... 2008). W wariantcie A (rys. 1 a) uszczelnienie zaprojektowano w postaci nieprzepuszczalnej przesłony umieszczonej w osi wału. Długość przesłony w przekroju nr 26 wynosi 8,4 m, natomiast



Rys. 1. Schematy obliczeniowe, przekrój 28 (km 2+015): a) wariant A, b) wariant B
 Fig. 1. Schemes of cross-section at 2+015 km of analysed levee: a) variant A, b) variant B

w przekroju nr 83 jest równa 10,1 m. Górna krawędź przesłony położona jest 0,9 m poniżej projektowanej (podwyższonej) rzędnej korony wału. W wariantcie B (rys. 1 b) uszczelnienie zaprojektowano w postaci ekranu bentonitowego rozścielonego na skarpie odwodnej oraz ścianki szczelnej wbitej w stopie wału. Górną krawędź maty bentonitowej umieszczono na rzędnej identycznej jak górna krawędź przesłony w wariantcie A, czyli 0,9 m poniżej nadsypanej korony. Podobnie postąpiono z dolną krawędzią ścianki szczelnej, przyjmując ją na tej samej rzędnej, co dolna krawędź przesłony w wariantcie A. W celu określenia wpływu długości przesłony na wielkość przepływu filtracyjnego wykonano obliczenia dodatkowe (wariant C). Prowadzono je wyłącznie dla przekroju nr 26 oraz uszczelnienia w postaci pionowej przesłony umieszczonej w osi wału. Długość przesłony w wariantcie C wydłużono do 12,4 m.

Numeryczne modele filtracji przez wał i podłoże

W analizie przyjęto, że proces filtracji jest ustalony i obejmuje zarówno strefę saturacji, jak i aeracji. Zagadnienie opisane jest równaniem Richardsa dla ruchu ustalonego (nieliniowe równanie różniczkowe rzędu drugiego). Poszukiwaną niewiadomą jest wysokość piezometryczna w całym obszarze przepływu, zarówno w strefie nasyconej, jak i nienasyconej (SROKA i WOSIEWICZ 1996). Przyjęto, że w strefie niepełnego nasycenia przewodność hydrauliczną oraz krzywą retencyjną definiują wzory VanGenuchtena i Mualema (FREDLUND i RAHARDJO 1993). W modelach numerycznych uwzględniono możliwość wystąpienia na skarpie odpowietrznej strefy wysączenia. Koronę wału i odcinki skarp znajdujących się w strefie aeracji przyjęto natomiast jako nieprzepuszczalne.

Taki sposób analizy filtracji przez wały przeciwpowodziowe umożliwia realizację obliczeń w znanym obszarze przepływu i nie wymaga żmudnego, iteracyjnego (często też nieskutecznego) poszukiwania położenia krzywej depresji. Podstawy teoretyczne takiego podejścia można znaleźć na przykład w pracach FREDLUNDA i RAHARDJO (1993) czy SROKI i WOSIEWICZA (1996).

Odpowiednie modele numeryczne filtracji przez wał i podłoże zrealizowano metodą elementów skończonych (ZIENKIEWICZ i TAYLOR 2000), z wykorzystaniem własnego autorskiego oprogramowania komputerowego (SROKA i IN. 2004). Przy obliczeniach poszukiwano rozkładu wysokości piezometrycznych (poszukiwana funkcja) w wyróżnionych punktach (węzłach) obszaru filtracji. Zastosowano elementy trójkątne z liniowymi funkcjami kształtu. Uzyskany rozkład wysokości piezometrycznych umożliwił wyznaczenie wydatku (natężenie przesiąków), rozkładu gradientów hydraulicznych oraz ciśnień. W dalszej kolejności wyznaczono charakterystyczną trajektorię, wzdłuż której woda w najkrótszym czasie przepływa z międzywału na zawale. Średni gradient hydrauliczny obliczono, dzieląc wysokość piętrzenia H przez długość tak wyznaczonej trajektorii. Algorytm wyznaczania trajektorii oraz czasu przepływu opisano w pracy SROKI i IN. (2004).

Schemat obliczeniowy dla wariantu A przedstawiono na rysunku 1 a. Aktywną długość warstwy przepuszczalnego podłoża, od strony zawala, przyjęto równą 70 m, czyli ponad trzykrotną wartość miąższości oraz ponad dwukrotnie większą od szerokości wału w podstawie (wynoszącej około 30 m), które to wielkości można traktować jako charakterystyczne wymiary liniowe zadania. Wał oddalony jest od koryta Wisły około 70 m, a wzniesienie korony wału po modernizacji (w tym nadsypanie) ponad poziom terenu wyniesie 5,30 m. Przesłona uszczelniająca umieszczona będzie w osi wału o długości 8,4 m. Przesłonę na modelu przyjęto jako granicę nieprzepuszczalną. Podział obszaru na elementy wykonano w programie GEMOF (SROKA i IN. 2004). Dla wariantu A wygenerowano siatkę podziału na elementy składającą się z ponad 2700 węzłów (niewiadomych wysokości piezometrycznych) oraz ponad 5200 elementów.

Schemat obliczeniowy zadania dla uszczelnienia według wariantu B przedstawiono na rysunku 1 b. Ścianka szczelna wbita jest w stopie skarpy odwodnej do poziomu identycznego jak przesłona w wariacie A (4,0 m w podłoże), a wzdłuż skarpy ułożona jest bentomata. W obliczeniach przyjęto, że bentomata, ścianka i ich połączenie są szczelne. Wygenerowana siatka elementów składała się tutaj z ponad 4000 węzłów oraz ponad 8000 elementów.

Wyniki

Poniziej przedstawiono szczegółowo jedynie wyniki analiz dla przekroju nr 26, dla wszystkich wariantów projektowanych uszczelnień. Wyniki uzyskane dla drugiego rozważanego przekroju były podobne (por. niepublikowane opracowanie SROKI i IN. (2009) zawierające pełny zestaw wyników).

Uzyskane rezultaty dla wariantu A – obejmujące rozkłady wysokości piezometrycznych i gradientów, położenie krzywej zerowych ciśnień oraz trajektorię, wzdłuż której następuje najszybciej przepływ z międzywału na zawale – zilustrowano na rysunkach 2 a-d. Granice odmiennie zabarwionych obszarów wyznaczają izolinie wysokości piezometrycznych ze skokiem co 0,25 m. Obliczony wydatek wyniósł $Q_f = 19,7 \text{ m}^3/\text{d}$ na metr długości wału. Długość charakterystycznej trajektorii pokazanej na rysunku 2 d wynosi 28,1 m. Biorąc pod uwagę wysokość piętrzenia równą 3,9 m, średni gradient jest równy $I_{sr} = 0,14$. Wyznaczony dla przyjętej porowatości $n = 0,25$ czas przejścia wody wzdłuż tej trajektorii T wynosi 6 dób.

Uzyskane wyniki dla wariantu B – obejmujące, jak poprzednio, rozkłady wysokości piezometrycznych oraz gradientów hydraulicznych, układ krzywej zerowych ciśnień i przebieg charakterystycznej (najszybszej) trajektorii – pokazano na rysunkach 3 a-d. Obliczony wydatek $Q_f = 15,7 \text{ m}^3/\text{d}$ na metr długości wału. Długość charakterystycznej trajektorii pokazanej na rysunku 3 d $L = 38 \text{ m}$. Biorąc pod uwagę wysokość piętrzenia $H = 3,9 \text{ m}$, średni gradient I_{sr} jest mniejszy i wynosi 0,10. Dla przyjętej porowatości $n = 0,25$ wyznaczony czas przejścia wody (najkrótszy) $T = 11,5$ doby.

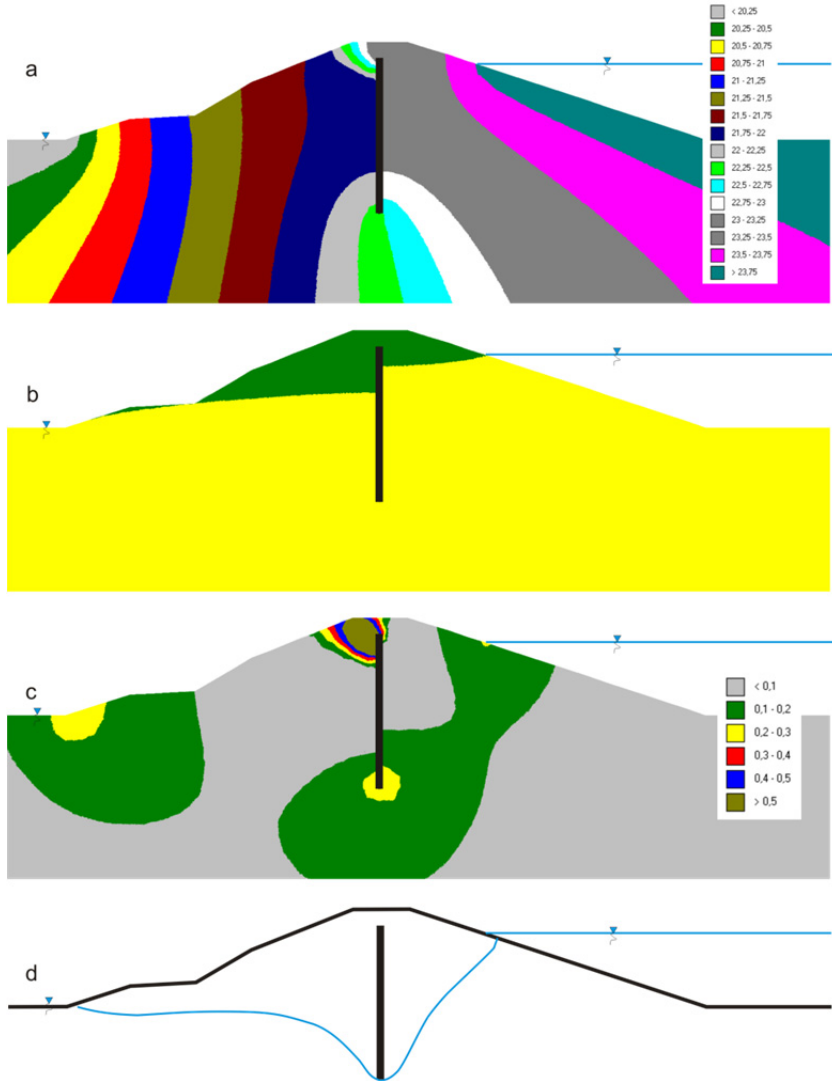
Wykonano również analizy dla zabezpieczenia przeciwfiltracyjnego z rdzeniem w osi wału o zwiększonej o długości 4,0 m (wariant C). Wszystkie dane do obliczeń przyjęto identycznie jak w wariantcie A, zwiększając jedynie o 4,0 m długość przesłony przeciwfiltracyjnej (do 12,4 m).

W każdym z analizowanych przypadków znaczną część naporu przejmuje uszczelnienie. Różnica poziomów krzywej depresji przed i za uszczelnieniem (Δh) wynosi od 40 do 50% wysokości piętrzenia H .

Wyniki przeprowadzonych obliczeń zestawiono łącznie w tabeli 1. Dla poszczególnych wariantów uszczelnień (A, B i C) uwzględniono:

- wydatek filtracyjny na jeden metr długości wału Q_f ,
- wysokość piętrzenia H (różnicę rzędnych zwierciadła wody w międzywału i wody gruntowej na zawale),
- różnicę poziomów krzywej depresji przed i za uszczelnieniem Δh ,
- długość charakterystycznej trajektorii, wzdłuż której następuje najszybszy przepływ z międzywału na zawale L ,
- czas przejścia wzdłuż charakterystycznej trajektorii T (najkrótszy),
- średni gradient hydrauliczny I_{sr} ,
- lokalny gradient hydrauliczny na skarpie odpowietrznej I_A (w punkcie A z rys. 1).

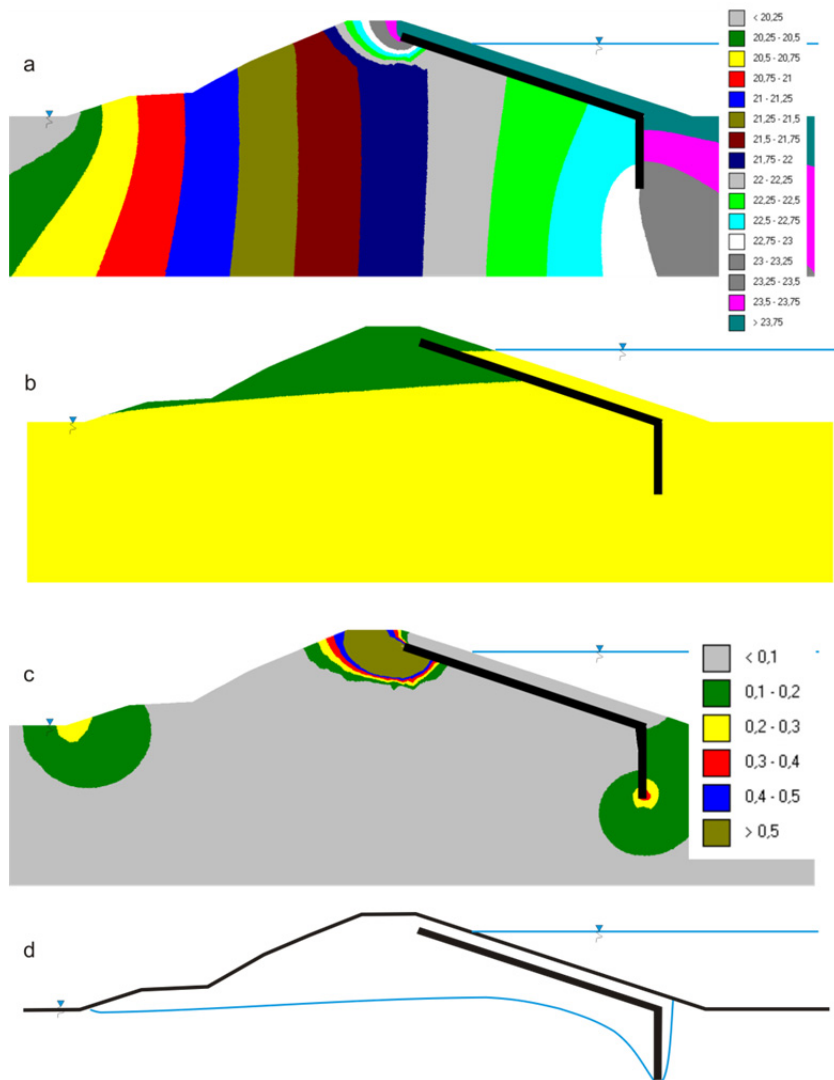
Dla wszystkich analizowanych wariantów obliczone średnie gradienty są w każdym przypadku mniejsze od gradientów dopuszczalnych (WAŁY... 1982). Oznacza to, że zastosowane zabezpieczenia przeciwfiltracyjne zarówno w postaci przesłony w osi wału (wariant A), jak i ścianką szczelną oraz bentomatą wzdłuż skarpy odwodnej (wariant B),



Rys. 2. Wyniki analiz dla przekroju nr 28, wariant A: a) rozkład wysokości piezometrycznych, b) obszary pełnego i niepełnego nasycenia, c) rozkład gradientów, d) charakterystyczna trajektoria

Fig. 2. Results of analysis for the cross-section no. 28, variant A: a) distribution of piezometric head, b) areas of full and partial saturation, c) distribution of hydraulic gradient, d) specific trajectory

dostatecznie zabezpieczają korpus i podłoże przed zjawiskiem sufozji na skarpie odpowietrznej oraz na terenie zawala, którą mogłaby powodować filtracja w przypadku wystąpienia w Wiśle wody o prawdopodobieństwie 0,1%.



Rys. 3. Wyniki analiz dla przekroju nr 28, wariant B: a) rozkład wysokości piezometrycznych, b) obszary pełnego i niepełnego nasycenia, c) rozkład gradientów, d) charakterystyczna trajektorja

Fig. 3. Results of analysis for the cross-section no. 28, variant B: a) distribution of piezometric head, b) areas of full and partial saturation, c) distribution of hydraulic gradient, d) specific trajectory

Wyniki obliczeń wskazują na potencjalnie niebezpieczne obszary po stronie odpowietrznej, tam gdzie lokalnie występują zwiększone wartości modułu gradientu hydraulicznego. Strefy te mają jednak niewielkie rozmiary i obejmują pas szerokości około

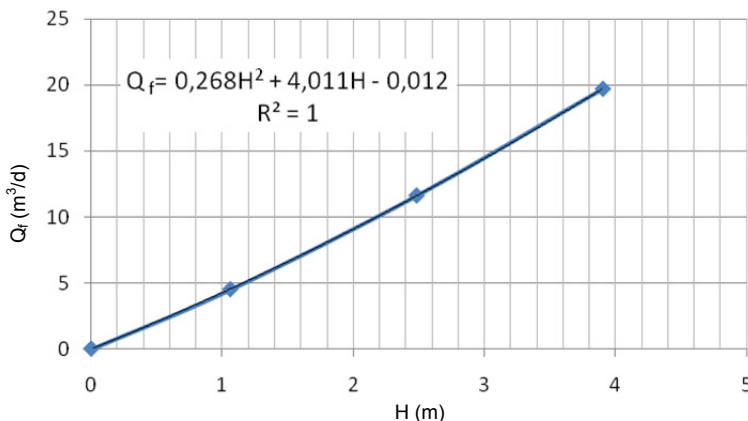
Tabela 1. Zestawienie wyników
Table 1. Summary of results

Wariant uszczelnienia Saling scheme	Q_f (m^3/d)	H (m)	L (m)	I_{sr} (-)	T (d)	Δh (m)	I_A (-)
A	19,7	3,9	28,1	0,14	6,0	1,44	0,344
B	15,7	3,9	38,0	0,10	11,5	1,69	0,258
C	17,1	3,9	34,8	0,11	10,2	2,0	0,185

2 m u podnóża skarpy. Warto zaznaczyć, że przy zabezpieczeniach według wariantu B (ścianka szczelna i bentomata) gradient w stopie skarpy odpowietrznej (I_A) jest mniejszy niż dla wariantu A – poniżej wartości 0,3. Przy uszczelnieniu pionowym ekranem umieszczonym w osi wału (wariant A) lokalny gradient I_A można istotnie zredukować, wydłużając ekran (por. wariant C).

Wał posadowiony jest na dobrze przepuszczalnych utworach o znacznej miąższości. Jest to powodem dużego natężenia przepływu filtracyjnego, i to pomimo zastosowania zabezpieczeń przeciwfiltracyjnych. Wariant zabezpieczenia B daje mniejsze natężenie przesiąków, lecz różnice w porównaniu z wariantami uszczelnienia A i C nie są istotnie znaczące. Warto podkreślić, że obliczone wartości natężenia przesiąków, z uwagi na przyjęte wartości współczynnika filtracji, należy traktować jako oszacowanie górne (maksymalne).

Analizowany problem, z uwagi uwzględnienie strefy niepełnego nasycenia, nie jest problemem liniowym. Wykonano zatem dodatkowe obliczenia, aby określić, jak zmienia się wydatek filtracyjny Q_f w zależności od wysokości piętrzenia H. Szukaną zależność w analizowanym problemie dobrze opisuje odpowiedni wielomian stopnia drugiego. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowo uzyskaną zależność dla wariantu A



Rys. 4. Zależność wydatku jednostkowego Q_f od wysokości piętrzenia H dla przekroju 28 (wariant A)

Fig. 4. Discharge of seepage for unit length of levee Q_f versus height of head H for the cross-section no. 28, variant A

w przekroju 28. Na jej podstawie można oszacować objętość wody filtrującej na teren chroniony i wykorzystać tę wielkość do zaprojektowania odpowiedniego systemu odwadniającego.

Obliczone najkrótsze czasy przepływu z międzywału na teren chroniony (zawale) charakteryzują szybkość przebiegu procesu filtracji przez wał. Biorąc pod uwagę długo-trwałość fali powodziowej w analizowanych przekrojach Wisły oraz wyznaczone czasy przejścia (np. w wariacie uszczelnienia A czas ten w przekroju Nr 26 wynosi zaledwie 6 dób), wielkości te znacznie się różnią – prawie o rząd. W analizowanym problemie filtracja mogła zatem być, bez popełnienia większego błędu, uwzględniana jako proces ustalony.

Podsumowanie

Analizowano filtrację na dwunastokilometrowym odcinku modernizowanego obwałowania Wisły na Nizinie Ciechocińskiej. Wały wymagały podwyższenia i zastosowania uszczelnień. Szczegółowo rozpatrzono dwa projektowane sposoby uszczelnienia, za pomocą pionowej przesłony w osi wału albo ścianki szczelnej w stopie oraz ekranu na skarpie. Celem analizy było wyznaczenie charakterystycznych parametrów przepływu filtracyjnego, które mogłyby posłużyć jako kryterium wyboru optymalnego wariantu modernizacji. Wyznaczono natężenie przepływu filtracyjnego przez wał i podłoże, położenie krzywej zerowych ciśnień, średni gradient hydrauliczny oraz czas przejścia wody z koryta rzeki na zawale. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych, wykorzystując własne, autorskie oprogramowanie komputerowe.

Badania potwierdziły zasadność analizowania problemów filtracyjnych wałów i zapór z uwzględnieniem przepływów w strefie niepełnego nasycenia. Wykazały także przydatność autorskiego oprogramowania (SROKA i IN. 2004) do analizy podobnych problemów filtracyjnych (ważnych także z aplikacyjnego punktu widzenia), z uwagi na duże możliwości postprocesingu (izolinie wysokości piezometrycznych i gradientów, rozkłady prędkości filtracji, trajektorie i izochrony itd.).

Uzyskane wyniki mogą być dla inwestora podstawą do podjęcia decyzji o wyborze rozwiązania konstrukcyjnego.

Literatura

- BADANIA geologiczno-geotechniczne dla modernizacji wału przeciwpowodziowego Niziny Ciechocińskiej od km 0+000 do km 12+000. 2007. Maszynopis. Opracowanie – Geo-Profil, Poznań.
- FREDLUND D.G., RAHARDJO H., 1993. Soil mechanics for unsaturated soils. Wiley, Toronto.
- MODERNIZACJA wału przeciwpowodziowego Niziny Ciechocińskiej. 2008. Maszynopis. Dokumentacja projektowa „Profil podłużny wału oraz przekroje poprzeczne”, Biprowodmel, Poznań.
- OCENA stanu technicznego wału przeciwpowodziowego Niziny Ciechocińskiej gmina Aleksandrów Kujawski. 2005. Maszynopis. Opracowanie – Pracownia Projektowa Gospodarstwa Pomocniczego przy Kujawsko-Pomorskim Zarządzie Melioracji i Urządzeń Wodnych we Włocławku, Włocławek.

- PORADNIK hydrogeologa. 1971. Red. S. Turek. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- PRZEKROJE poprzeczne przez rzekę Wisłę. 2008. Maszynopis. Opracowanie – Aqua, Toruń.
- SROKA Z., WALCZAK Z., WOSIEWICZ B.J., 2004. Analiza ustalonych przepływów wód gruntowych metodą elementów skończonych. Wyd. AR, Poznań.
- SROKA Z., WALCZAK Z., WOSIEWICZ B.J., 2009. Obliczenia filtracji przez modernizowany wał przeciwpowodziowy na Nizinie Ciechocińskiej – etap I (od km 0+000 do km 8+505). Maszynopis. Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Wodnego UP, Poznań.
- SROKA Z., WOSIEWICZ B.J., 1996. Seepage through earth dams regarding unsaturated zone. 6th Conf. Problems of hydroengineering. Wrocław – Szklarska Poręba 1996. Pr. Nauk. Inst. Geotech. Hydrotech. P. Wroc. 71, Ser. Konf. 38: 328-335.
- WAŁY przeciwpowodziowe – wytyczne instruktażowe projektowania. 1982. Red. A. Żbikowski. Wyd. SGGW, Warszawa.
- ZIENKIEWICZ O.C., TAYLOR R.R., 2000. The finite element method. Vol. 1. The basis. Butterworth-Heinemann, Oxford.

ANALYSIS OF SEEPAGE THROUGH IMPROVING LEVEES ON THE VISTULA RIVER

Summary. This paper is concerned with seepage through embankments of the Vistula River along 12-km course on the Ciechocińska Lowlands, which is being improved. Two concepts of sealing the levee have been thoroughly reviewed: 1) vertical screen located in the levee axis, 2) sheet pile in the toe, combined with a screen on the slope. The aim of the analysis was to determine parameters of seepage flow, which might be used as a criterion for selecting the optimal variant of improvement. Calculations have been carried out using the finite element method. Flow rate through levee and foundation has been calculated as well as the mean hydraulic gradient and the time required to seepage from the floodplan to the tailwater side. Obtained results may help the investor select the variant of improvement to be implemented.

Key words: seepage, embankments, numerical modeling

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Zbigniew Sroka, Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 61-691 Poznań, Poland, e-mail: zbsr@up.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

13.06.2011

Do cytowania – For citation:

Sroka Z., Wosiewicz B.J., Walczak Z., 2011. Analiza filtracji przez modernizowany wał przeciwpowodziowy na Wiśle. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #95.