

ANNA ASANI *

ZASTOSOWANIE BENTOMATY I ŚCIANKI ILASTEJ JAKO EKRAŃÓW PRZECIWFILTRACYJNYCH W WAŁACH PRZECIWPOWODZIOWYCH

Słowa kluczowe: uszczelnianie wałów, filtracja wody przez wał przeciwpowodziowy, technologie uszczelnienia wałów, bentomata, ścianka ilasta

Streszczenie

Przedmiotem badań przedstawionych w niniejszym opracowaniu jest analiza wpływu uszczelnień wałów przeciwpowodziowych w postaci bentomaty i ścianek ilastych, na filtrację wody. Badania te przeprowadzono w obrębie wałów zlokalizowanych na lubuskim odcinku Odry, od 561,6 do 565,0 km biegu rzeki. Obliczenia filtracji wody przeprowadzono w roku hydrologicznym 2004/2005. Podstawą obliczeń były obserwacje hydrogeologiczne dokonane w specjalnie do tego celu zainstalowanych sieciach piezometrów umiejscowionych we fragmentach wałów różniących się technologią uszczelnień. Wynikiem przeprowadzonych badań jest porównanie skuteczności zastosowanych uszczelnień w ograniczeniu filtracji wody przez wał.

Wstęp

Analiza skuteczności uszczelnienia wałów przeciwpowodziowych przegradą przeciwfiltacyjną w postaci bentomaty i ścianki ilastej została przeprowadzona w obrębie wałów przeciwpowodziowych lubuskiego odcinka Odry, a dokładnie w rejonie miejscowości Urad, gdzie analizowany fragment stanowi 3,4 km odcinek wału powodziowego oznaczonego symbolem P-10 zlokalizowanego na prawym brzegu Odry wzdłuż 561,6 do 565,0 km biegu rzeki.

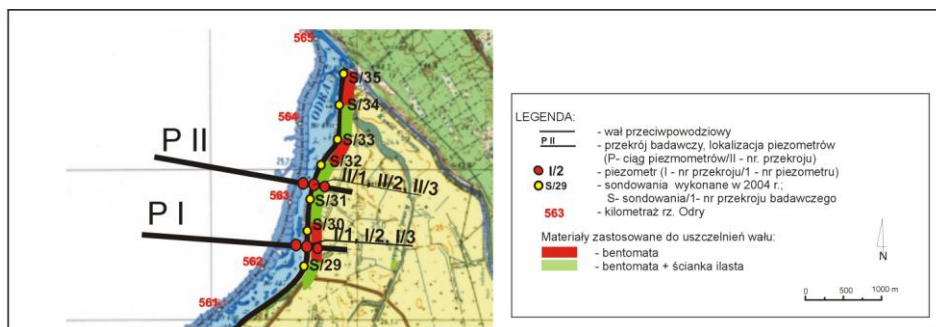
Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska z dnia 20 grudnia 1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej (Dz.U. z 1997 nr 21, poz. 111), analizowany odcinek wału jest wałem II klasy.

* Uniwersytet Zielonogórski; Instytut Inżynierii Środowiska; Zakład Hydrologii i Geologii Stosowanej

Odcinek ten został zbudowany prawdopodobnie za czasów działalności królewskiego nadinspektora ds. budów wodnych i wałów na Dolnym i Górnym Śląsku oraz funkcjonowania związków wałowych (tzn. po 1846 r.) Jednak zasadniczy kształt nadano mu po wielkiej powodzi, jaka miała miejsce w 1985 r., a przede wszystkim – po 1905 r., kiedy zaczęła obowiązywać tzw. Ustawa Odrzańska. Podczas wielkiej powodzi w 1997 r. wał został znacznie uszkodzony [Kołodziejczyk 2002]. W wyniku przeglądu wałów dokonanego w 1998 r. stwierdzono, że z uwagi na zbyt niską koronę, a także występowanie nieszczelności i licznych deformacji, wał nie spełnia swoich funkcji. Dlatego też w roku 2000 przeprowadzono jego gruntowną modernizację [Bobowska i Kołodziejczyk 2004]. Podczas modernizacji tego odcinka wałów, w celu ograniczenia filtracji wody przez wał i zwiększenia bezpieczeństwa przeciwpowodziowego w rejonie, zostały zainstalowane przegrody przeciwfiltacyjne [Asani 2006]. W zależności od budowy geologicznej korpusu i podłoża oraz odległości wału od koryta rzeki zastosowano izolacje w postaci (rys.1):

- bentomaty uszczelniającej korpus wału,
- bentomaty uszczelniającej korpus wału połączonej ze ścianką ilastą uszczelniającą podłoże wału.

W ramach modernizacji uwzględniono również dostosowanie wysokości wału do rzędnych korony wałów znajdujących się po niemieckiej stronie Odry.



Rys. 1. Lokalizacja analizowanego odcinek wałów z wyszczególnieniem zastosowanych technologii uszczelnienia

Aktualnie wał ma wysokość 3,5-5,0 m, zróżnicowaną lokalnie ze względu na morfologię terenu. Skarpa od strony rzeki ma nachylenie około 1:3, a od zawala 1:2,5, co można uznać za właściwe i bezpieczne dla stateczności wału. Na znacznej długości wału, w stronie odpowietrznej występuje ławka. Szerokość wału w koronie wynosi 5 m. Korona wyłożona jest betonowymi płytami.

Ocena filtracji wody przez wał

Przeprowadzona w 2004 r. wizja lokalna wykazała, że zmodernizowany wał jest w dobrym stanie i nie wymaga remontu lub napraw. Stan ten potwierdziły dalsze badania szczegółowe, np. sondowania sondą lekką DPL wykazały stałość stopnia zagęszczenia gruntu wbudowanego w wał. Pozwala to przypuszczać, że modernizacja wału, jaka miała miejsce pięć lat wcześniej wykonana została prawidłowo, a parametry wału są zgodne z wymogami bezpieczeństwa dla tego typu budowli [BIPROWODMEL 1990, 2000; PROXIMA 1999; EKO-PROJEKT 1999].

Kolejnym etapem prac było oszacowanie natężenia przepływu wody przez wał. W tym celu zainstalowano w odcinku wałów przeciwpowodziowych P-10 dwie sieci piezometrów:

- PI – we fragmencie wału uszczelnionego matą bentonitową w korpusie wału,
- PII – we fragmencie wału uszczelnionego matą bentonitową w korpusie wału oraz ścianką ilastą w części podłoża.

Przeprowadzono również monitoring zjawisk hydrologicznych w pobliskich posterunkach wodowskazowych, zlokalizowanych najbliżej analizowanego odcinka wału, czyli w Połęczku i Słubicach. Piezometry stanowiły rury o przekroju $\varnothing=50$ mm i długości od 3 m (w międzywałiu i na zawalu) do 6 m (w koronie wału), zakończone filtrem siatkowym.

Odczytów stanu wody w piezometrach dokonywano raz w miesiącu. Wyniki pomiarów uzyskiwanych w kolejnych miesiącach roku hydrologicznego 2004/2005 zestawiono w tabeli 1.

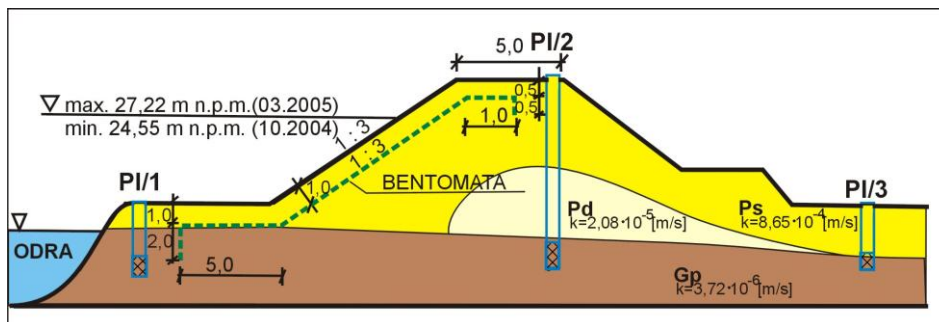
Do obliczenia natężenia przepływu wody przez wał przyjęto uproszczenia zakładające gradienty równe nachyleniu linii depresji. W zależności jednak od warunków miejscowych, tj. rodzaju podłoża i jego przepuszczalności oraz sposobu uszczelnienia korpusu wału, w obliczeniach uwzględniono następujące przypadki:

- wał ze szczelną przesłoną wyłącznie w korpusie wału (podłoże wału jest izolowane przez rodzime grunty nieprzepuszczalne) – rys. 2,
- wał ze szczelną przesłoną w korpusie i w części podłoża – rys. 3.

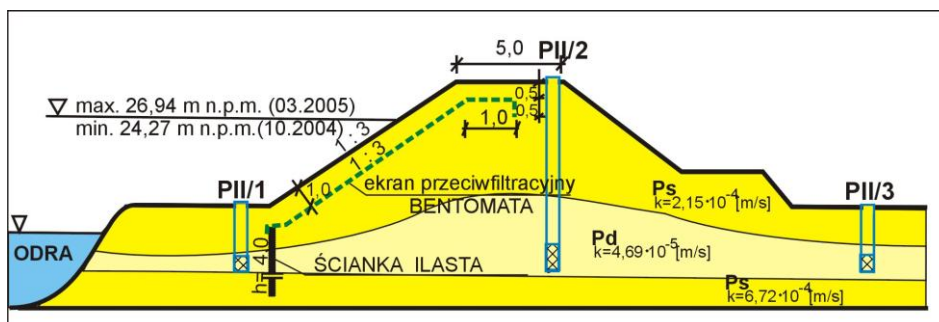
Tab. 1. Zestawienie stanu wody w piezometrach oraz w Odrze

Data pomiaru	Uszczelnienie korpusu wału bentomatą oraz podłoża ścianką ilastą			Uszczelnienie korpusu wału bentomatą				
	Stan wody w Odrze (m n.p.m.)	Stan wody w piezometrach (m n.p.m.)			Stan wody w Odrze (m n.p.m.)	Stan wody w piezometrach (m n.p.m.)		
		II/1	II/2	II/3		I/1	I/2	I/3
21.10.04	24,27	24,20	< 26,92	23,98	24,55	23,76	< 25,06	23,93
25.11.04	25,46	24,50	< 26,92	23,90	25,74	24,09	< 25,06	24,36
20.12.04	24,81	25,30	< 26,92	24,15	25,09	25,49	< 25,06	25,23
24.01.05	25,64	24,76	< 26,92	24,98	25,95	24,74	< 25,06	24,78
21.02.05	25,84	24,26	< 26,92	24,87	26,12	25,66	< 25,06	25,46
21.03.05	26,94	22,40	26,04	24,14	27,22	25,86	< 25,06	25,37
25.04.05	26,03	22,40	25,78	23,62	26,31	25,39	< 25,06	25,10
28.05.05	25,60	23,80	25,56	23,36	25,88	26,26	< 25,06	24,98
25.06.05	24,97	23,60	< 26,92	23,39	25,25	25,18	< 25,06	24,68
29.07.05	24,87	24,20	< 26,92	23,98	25,15	24,96	< 25,06	24,63
25.08.05	24,74	24,50	< 26,92	23,90	25,02	24,79	< 25,06	24,46
26.09.05	24,82	25,30	< 26,92	24,15	25,10	24,36	< 25,06	24,13

Znak (<) oznacza poziom wody poniżej zasięgu piezometru



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia piezometrów w wale przeciwpowodziowym uszczelnionym bentomatą w korpusie wału



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia piezometrów w wale przeciwpowodziowym uszczelnionym bentomatą oraz ścianką ilastą w podłożu

Wał ze szczelną przesłoną wyłącznie w korpusie wala

Jednostkowe natężenie przepływu wody (q) zainstalowaną wyłącznie w korpusie wala obliczono na podstawie wzoru:

$$q = k_p \frac{h_1 - h}{s + l} \left(T + \frac{h_1 + h}{2} \frac{k_k}{k_p} \right)$$

gdzie:

k_p – współczynnik filtracji w podłożu [m/s],

k_k – współczynnik filtracji w korpusie [m/s],

h – miąższość warstwy wodonośnej liczona od lustra wody do spągu przesłony uszczelniającej [m],

h_1 – wysokość krzywej depresji do spągu przesłony uszczelniającej [m],

s – odcinek spadku krzywej depresji po stronie odpowietrznej wala [m],

l – szerokość podstawy wala [m],

T – miąższość podłoża (zasięg piezometru) [m].

Wał ze szczelną przesłoną w korpusie i w części podłoża

Jednostkowe natężenie przepływu wody przez wał ze szczelną przesłoną zainstalowaną w korpusie i w części podłoża (q) obliczono na podstawie wzoru:

$$q = k_p H f$$

gdzie:

k_p - współczynnik filtracji w podłożu [m/s],

H - poziom wody przy wale [m],

f - współczynnik obliczony zgodnie ze wzorem:

$$f = 0,3 \sqrt[3]{\frac{T}{t}} - 1$$

gdzie:

T - miąższość podłoża (zasięg piezometru) [m],

t - głębokość zagłębienia przesłony uszczelniającej w podłożu [m].

Należy podkreślić, iż obliczenia wykonano z założeniem pełnej szczelności przesłony.

Celem przeprowadzenia dokładniejszej analizy matematycznej do obliczeń wprowadzono średnie wartości współczynnika filtracji k_w (średnie ważone) ustalone zarówno dla korony, jak i podłoża, które w obliczeniach charakteryzują ogólną przepuszczalność całej serii [Pazdro 1977; Turek 1971]. Ustalono je ze wzoru:

$$k_w = \frac{\sum km}{\sum m}$$

gdzie:

k - współczynnik filtracji w danej warstwie [m/s],

m - miąższość warstwy [m].

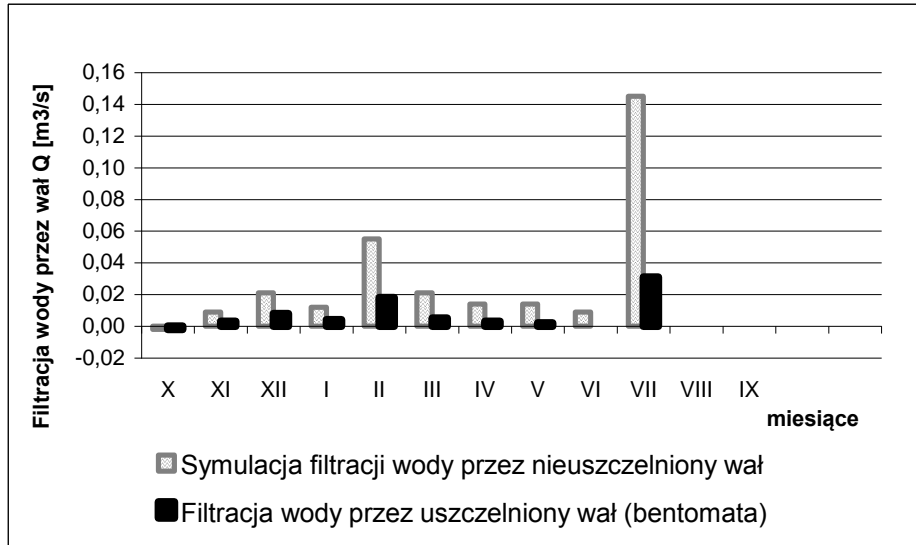
Uwzględniając powyższe założenia obliczono filtrację na analizowanym odcinku wału przeciwpowodziowego P-10. uzyskane wyniki zestawiono w tab. 2 oraz na rys. 4 i rys. 5.

Tab. 2. Zestawienie obliczeń filtracji przez analizowany fragment wału

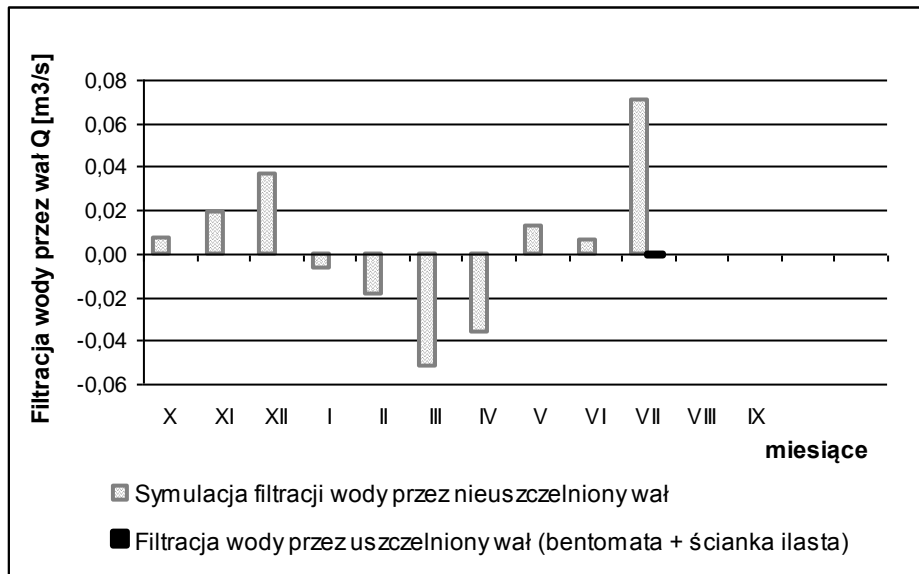
Okres badawczy	Uszczelnienie korpusu wału bentomata oraz podłoża ścianką ilastą		Uszczelnienie korpusu wału bentomata	
	Filtracja wody przez uszczelniony wał Q [m ³ /s]	Symulacja filtracji wody przez nieuszczelniony wał (brak uszczelnienia) Q [m ³ /s]	Filtracja wody przez uszczelniony wał Q [m ³ /s]	Symulacja filtracji wody przez nieuszczelniony wał (brak uszczelnienia) Q [m ³ /s]
21.10.04	0,000047	0,017	-0,006	-0,007
25.11.04	0,000074	0,024	-0,006	-0,011
20.12.04	-0,000071	0,064	0,002	0,011
24.01.05	0,000011	0,007	-0,002	-0,002
21.02.05	-0,000055	0,019	0,003	0,009
21.03.05	-0,000135	0,037	0,008	0,021
25.04.05	-0,000080	-0,007	0,004	0,012
28.05.05	-0,000352	-0,019	0,018	0,055
25.06.05	-0,000137	-0,052	0,005	0,021
29.07.05	-0,000091	-0,036	0,003	0,014
25.08.05	-0,000091	0,013	0,002	0,014
26.09.05	-0,000063	0,006	0,000	0,009
suma	-0,000943	0,071	0,031	0,145

Znak (-) oznacza bilans ujemny (filtracja wody z Doliny Uradzkiej w kierunku Odry)

Celem dokładnej analizy zjawiska przeprowadzono dodatkową symulację filtracji, jaka zachodziłaby przez analizowany odcinek wału, gdyby nie zastosowano technologii uszczelniających. Wykorzystano do tego wzory Michałowa [Borys i Mosiej 2003] wyznaczające jednostkowe natężenie przepływu wody przez korpus wału i podłoże przy zróżnicowanej przepuszczalności podłoża.



Rys. 4. Zestawienie obliczeń filtracji wody przez wał uszczelniony bentomatą w porównaniu z symulacją obliczeniową przy braku uszczelnienia



Rys. 5. Zestawienie obliczeń filtracji wody przez wał uszczelniony bentomatą w korpusie wału oraz ścianką ilastą w podłożu w porównaniu z symulacją obliczeniową przy braku uszczelnienia

Podsumowanie

Porównując otrzymane wyniki można wnioskować, iż instalacja zabezpieczeń przeciwfiltracyjnych w postaci bentomaty i ścianek ilastych znacznie obniżyła sumaryczną filtrację wody przez wał. Zastosowanie bentomaty jako ekranu przeciwfiltracyjnego w korpusie wału obniżyło filtrację wody z wartości $0,145 \text{ m}^3/\text{s}$ do $0,031 \text{ m}^3/\text{s}$, czyli o 78,6 %.

W innym przypadku, czyli przy połączeniu bentomaty zainstalowanej w korpusie wału ze ścianką ilastą wbudowaną u jego podstawy, wielkość filtracji spadła z $0,071 \text{ m}^3/\text{s}$ do $0,00094 \text{ m}^3/\text{s}$ – czyli o 98,7 %.

Obydwa analizowane przypadki potwierdzają słuszność stosowania sztucznych izolacji w wałach przeciwpowodziowych. Ich dobór powinien być jednak nieprzypadkowy i uzależniony od warunków miejscowych, tj.: rodzaju podłoża i jego przepuszczalności oraz szerokości międzywał.

Literatura

1. ASANI A.: *Empiryczny model obliczeniowy filtracji wody przez wał przeciwpowodziowy*. [W]: Woda - Ścieki - Odpady w Środowisku: IX konferencja naukowo-techniczna: Woda w środowisku. s. 9. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2006
2. BIPROWODMEL Biuro Projektów Wodnych i Melioracji w Zielonej Górze: *Odra – wały. Studium modernizacji obwałowań rz. Odry – woj. zielonogórskie.*, Zielona Góra 1990
3. BIPROWODMEL Biuro Projektów Melioracji i Inżynierii Środowiska: *Modernizacja wału p. powodziowego w km 546,0 do 555,4 rz. Odry.* 2000
4. BOBOWSKA A., KOŁODZIEJCZYK U.: *Die Modernisierung der Flussdeiche auf der lubusen Strecke der Oder.* Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego nr 131, Inżynieria Środowiska 12, s. 45-52. Zielona Góra 2004
5. BORYS. M., MOSIEJ K.: *Wytyczne wykonywania ocen stanu technicznego i bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych.* Wyd. IMUZ, Falenty 2003
6. EKOPROJEKT Sp. z o. o. Biuro Projektów Inżynierii Środowiska i Melioracji: *Urad – modernizacja prawobrzeżnego wału przeciwpowodziowego rz. Odry w km 561,7 - 564,5*, Zielona Góra 1999
7. KOŁODZIEJCZYK U.: *Geologiczno-inżynierskie badania wałów przeciwpowodziowych i ich podłoża.* Wyd. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2002
8. PAZDRO Z.: *Hydrogeologia ogólna.* Wyd. Geologiczne, Warszawa 1977

9. PROXIMA S.A. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu.: *Dokumentacja z nieinwazyjnych badań geologicznych oraz ocena stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych rzeki Odry w km 545,8 -564,8.*, Wrocław 1999
10. TUREK J.: *Poradnik hydrogeologa*. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1971

APPLICATION OF BENTOMATS AND LOAM BARRIER AS IMPERMEABLE WALL IN FLOOD BANKS

Key words: flood banks sealing, water filtration through a flood banks, sealing truck elements of the flood banks, bentomats, loam barrier

S u m m a r y

This article present investigation of effectiveness sealing truck elements of the flood banks with impermeable wall bentomats and protective loam partition. The testing was carried out in the area of flood banks located on the section of the Oder River in the Lubuskie Province, between 561,6 and 565,0 km of the river reaches. The filtration calculations were carried out in the hydrologic year 2004/2005 on the basis of hydrologic observations made in piezometer networks installed in levee fragments that differed in sealing technologies. The result of the tests is comparison of effectiveness sealing truck elements the flood banks in water filtration restriction.