

Eugeniusz KODA, Piotr KRÓL\*

## Renowacja i przebudowa systemów drenażowych w eksploatowanych zaporach ziemnych

### Abstract

**Renovation and reconstruction of drainage systems in exploited embankments dams.** Embankment dam drainage are systematically destructed during exploitation. In order to ensure dam safety periodical repairs or reconstruction should be provided. Usually it is delicate and difficult task, particularly in the case of complicated hydrogeological conditions as well as necessity of keeping water at a constant level in reservoir. The paper presents two realized and proved solutions, i.e. "finger" drainage and narrow "carpet" drainage.

*Key words: embankment dams, drainage, dam safety*

### Wstęp

Systemy drenażowe ziemnych budowli piętrzących wraz z filtrami odwrotnymi są elementami decydującymi w głównej mierze o bezpieczeństwie obiektu. Niekontrolowane procesy filtracji i zjawiska z nimi związane są podstawową przyczyną większości katastrof budowli hydrotechnicznych. W praktyce istnieje powszechny pogląd, że nie można sobie wyobrazić pracującej bezpiecznie dobrej zapory ze złym drenażem, natomiast spotyka się złe zapory z dobrymi drenażami.

Jak wszystkie urządzenia techniczne, również drenaże i filtry ulegają degradacji wskutek uszkodzeń mechanicznych, zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych, powodowanych przemieszczeniami korpusu zapory, sufozji gruntów do filtrów i drenaży, wytrącania się z filtrującej wody związków chemicznych (głównie manganu i żelaza) prowadzącego do kolmatacji rurociągów i filtrów, czy wreszcie w wyniku fizycznego starzenia się zastosowanych materiałów. Powszechnie okres niezawodnej pracy drenażu szacowany jest na co najwyżej 15 lat. W wielu obiektach, szczególnie budowanych dla celów rolniczych, systemy odwadniające nie były instalowane w trakcie wznoszenia budowli lub instalowane w ograniczonym, niewystarczającym zakresie. Dlatego też coraz częściej stwierdza się konieczność przeprowadzania remontów w eksploatowanych obiektach, dotyczących renowacji lub przebudowy systemów odwodnienia budowli.

Prace remontowe na obiektach hydrotechnicznych zawsze są trudne, a często nawet niebezpieczne. Najczęściej muszą być prowadzone w warunkach występowania niekorzystnych procesów filtracji

---

\*Katedra Geotechniki SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa.

(wysokie ciśnienia, przebicia hydrauliczne, sufozja, rozluźnienie gruntów) wywołanych niesprawnością odwodnienia oraz przy utrzymaniu normalnego lub co najwyżej obniżonego piętrzenia. Ponadto wymagają znacznego rozkopywania korpusu zapory od strony odpowietrznej, grożącego utratą stateczności. W niniejszym artykule omówiono przypadki dwóch zapór, w których prace remontowe przeprowadzono z sukcesem mimo trudnych warunków robót.

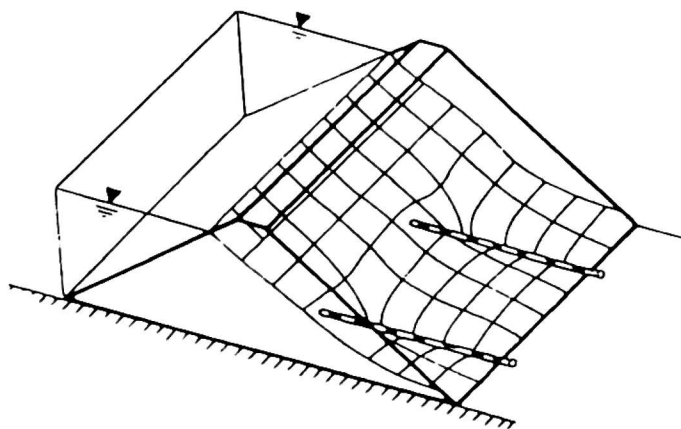
## Zapora Koszyce

Zapora Koszyce zlokalizowana jest na rzece Ruda w pobliżu miasta Piła i stanowi zaporę czołową zbiornika o tej samej nazwie. Korpus zapory został uformowany jako jednorodny nasyp ziemny bez elementów uszczelniających (zapora filtracyjna). Roboty ziemne na zaporze zostały zakończone w 1979 roku. Długość zapory wynosi 447 m, wysokość średnio około 5 m, a szerokość w koronie 20 m. Na odcinku o długości około 250 m zapora posadowiona została na bardzo odkształcalnych gruntach organicznych (torfy i gytie wypełniające rynną starorzecza Rudy) o znacznej miąższości, lokalnie przekraczającej nawet 30 m. Ze względu na słabe podłoże zastosowano bardzo łagodne pochylenia skarp: odwodnej 1:5 i odpowietrznej 1:10, co dało w efekcie dużą szerokość przekroju poprzecznego zapory. Zrezygnowano z drenażu od strony odpowietrznej, a elementem odwadniającym pozostał jedynie rów przyzaporowy. W osi budowli upustowej posadowionej na gruntach mineralnych, skarpy zapory uformowano z nachyleniem 1:3, również bez drenażu.

Okazało się, że przy zastosowanych rozwiązaniach położenie krzywej depresji jest bardzo wysokie na całej długości zapory i wychodziła ona na skarpe odpowietrzną. W rejonie wypadu zaobserwowano wysięki wody znacznie powyżej murów niecki. Osiedzenia i zjawiska filtracyjne powodowały, że zapora była kilkakrotnie remontowana, mimo stosunkowo krótkiego okresu eksploatacji. Prace koncentrowano głównie na podwyższaniu korpusu. Podjęta była również próba budowy drenażu rurowego, który na skutek odkształceń budowli uległ zniszczeniu w krótkim czasie.

Dla usunięcia skutków osiadań i niesprawności systemu odwodnienia obiektu opracowano zrealizowany potem projekt kompleksowego remontu zapory [Geoteko 1992a]. Korpus zapory został przebudowany. Skarpy zapory pochyłono w stosunku 1:5 (odwodna) i 1:7 (odpowietrzna) przy jednoczesnym wykonaniu po obu stronach szerokich bankietów dociążających. Zadaniem najtrudniejszym było wykonanie drenażu od strony odpowietrznej. Początkowo analizowano możliwość zastosowania rozwiązania z podłużnym rurociągiem drenarskim z dwoma wariantami wylotów, tj. poprzez studzienki rewizyjne do rowu przyzaporowego oraz z jednym wylotem do niecki wypadowej. W pierwszym wariantcie utrudnieniem okazał się płaski teren oraz wysokie położenie zwierciadła wody dolnej. Przy zachowaniu minimalnych spadków drenażu oraz minimalnych różnic między początkiem i końcem rurociągu, drenaż na znacznej długości byłby stale zatopiony. W drugim wariantcie, długi odcinek drenażu na odkształcalnym podłożu ulegałby istotnym deformacjom, prowadzącym w efekcie do uszkodzeń

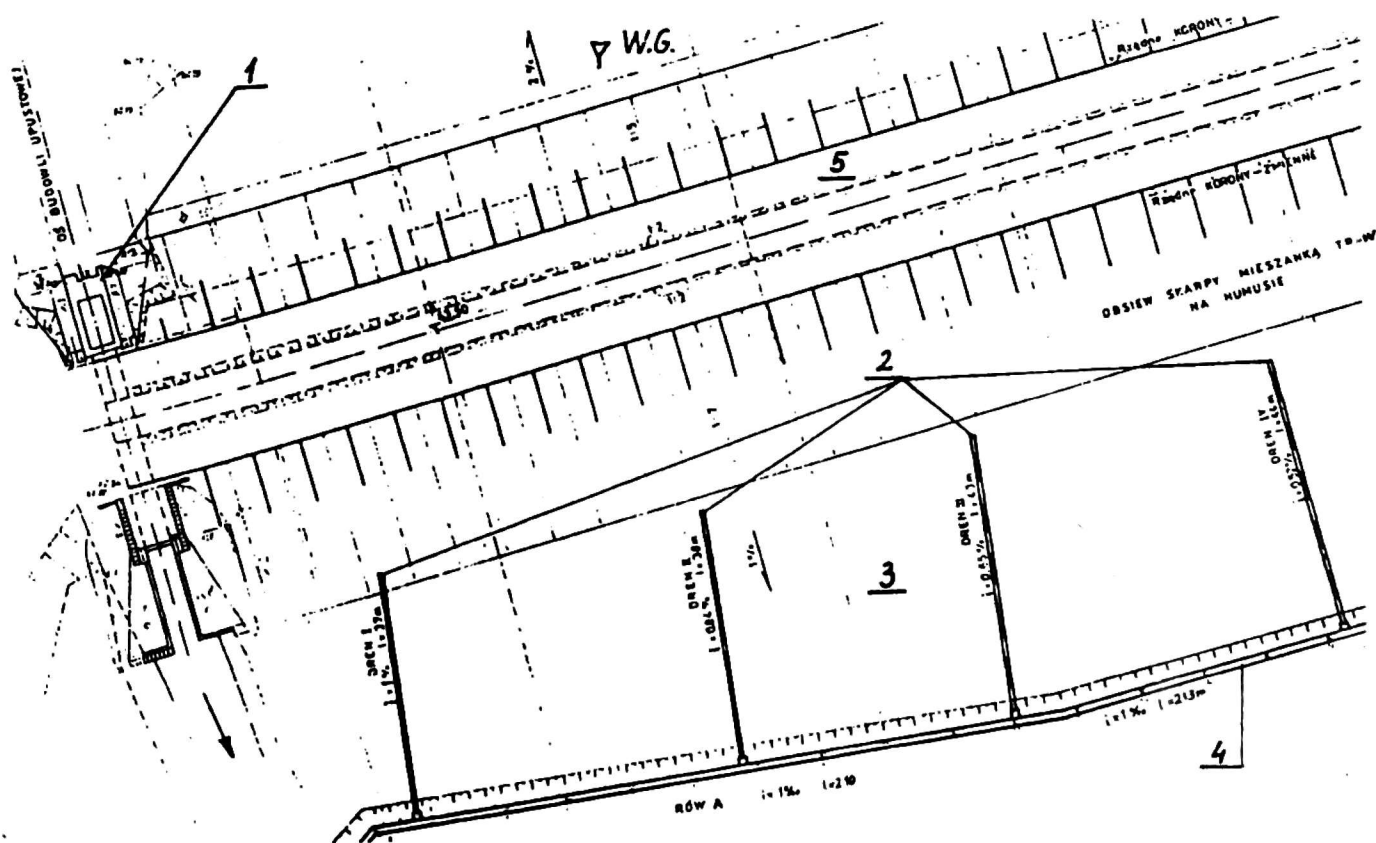
mechanicznych i zmian spadków (łącznie z powstaniem spadków odwrotnych). Ponadto istotną wadą obu rozwiązań były znaczne roboty ziemne prowadzące do naruszenia struktury gruntów w korpusie zapory i w podłożu. W tej sytuacji zdecydowano się na rzadziej stosowane w praktyce rozwiązanie, opisane w literaturze [VEB 1975, Brauns i Gottheil 1991], tj. prostopadłe do osi zapory drenaże palczaste (rys. 1). W analizowanej zaporze zaprojektowano pięć drenów o średniej długości około 40 m i spadku 0,5%, w rozstawie około 40 m (rys. 2). Dreny wykonano z rur kanalizacyjnych PCV o średnicy 200 mm, z perforacją  $\varnothing$  6 mm w górnej części na wysokość  $2/3$  średnicy, otoczonych warstwą filtra odwrotnego. Rurociągi te zakończono typowymi wylotami drenarskimi W-3 w rowie przyzaporowym. Lokalizację drenów przyjęto tak, by zapewniały one optymalne od-



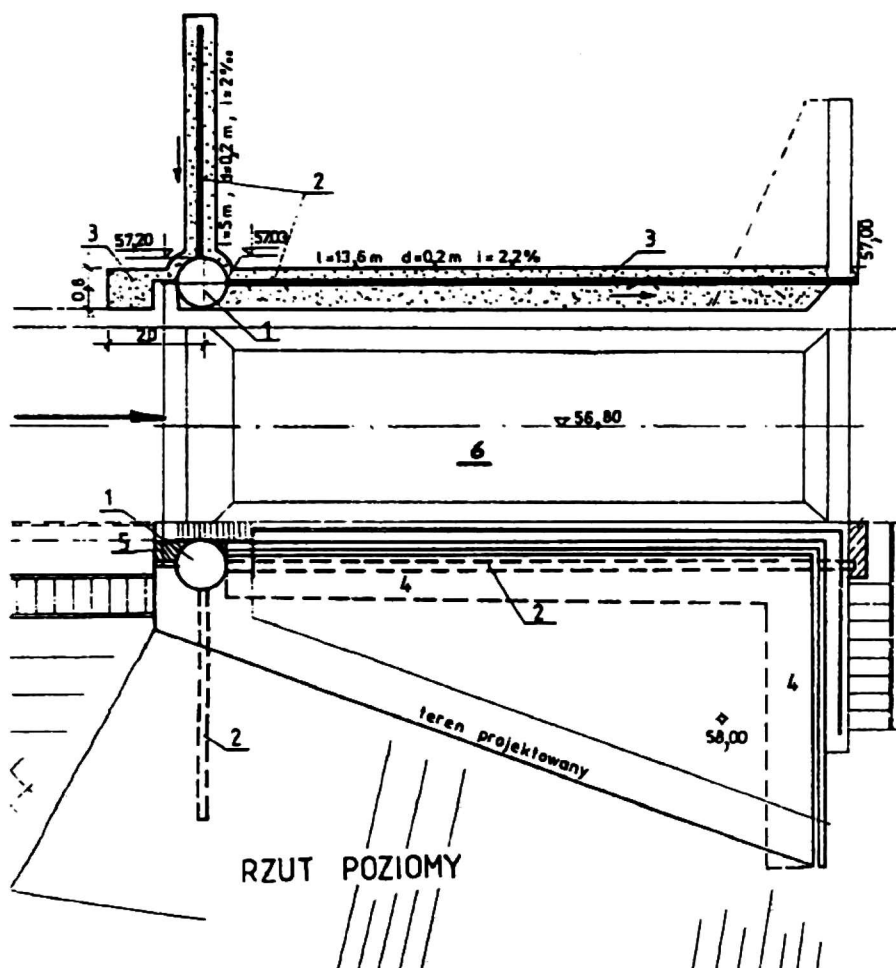
Rys. 1. Schemat działania drenaży palczastych [Brauns i Gottheil 1991]

wodnienie i zminimalizowanie ilości robót ziemnych (drenaże ułożono przed usypaniem dociążenia). Rów przyzaporowy uregulowano i umocniono prefabrykowanymi betonowymi płytami ażurowymi typu PA-1 na podsypce o uziarnieniu filtra odwrotnego.

Niezależne rozwiązanie zaproponowano dla odwodnienia wypadu [Geoteko 1992b]. Z obu stron niecki wypadowej



Rys. 2. Fragment zapory Koszyce; 1 – budowla upustowa, 2 – drenaże palczaste, 3 – bankiet dociążający, 4 – rów przyzaporowy, 5 – korona zapory



Rys. 3. Zapora Koszyce; odwodnienie budowli wypadowej: 1 – studnie drenarskie, 2 – rurociągi PCV (pachwinowy i podłużny), 3 – filtr odwrotny, 4 – prefabrykowane elementy żelbetowe podwyższające mury niecki, 5 – podwyższenie murów lane na miejscu, 6 – dok niecki wypadowej

zastosowano rurociągi drenarskie wzdłuż murów oraz prostopadłe do nich rurociągi pachwinowe wcinające się w skarpy (rys. 3). Ponadto dodatkowo odwodniono prawe zbocze doliny Rudy drenażem podłużnym, przechwytyjącym wody z terenów przyległych [Geoteko 1993a].

Wszystkie roboty związane z remontem zapory, a w szczególności wykonanie drenażu, przebiegły bez większych problemów. Ponad dwuletni okres bezawaryjnej eksploatacji zapory potwierdził słuszność przyjętych rozwiązań. Po wykonaniu prac remontowych, po raz pierwszy w okresie ponad 15-letniej eksploatacji obiektu, możliwe okazało się osiągnięcie pełnego piętrzenia w zbiorniku.

## Zapora Białobrzegi

Zapora Białobrzegi, zbudowana w latach 1959–1962, jest jedną z ośmiu zapór

bocznych chroniących doliny Narwi i Bugu przed zalaniem wodami z Zalewu Zegrzyńskiego. Jej podstawowe parametry wynoszą: długość – 1,57 km, szerokość korony – 3 m, nachylenia skarp: odwrotnej – 1:1,5 i odwodnej – 1:3. Zapora jest budowlą typu filtracyjnego bez dodatkowego uszczelnienia. Skarpa odwodna w strefie falowania została ubezpieczona płytami betonowymi. Zapora początkowo była odwadniana drenażem rurowym  $\varnothing$  200 mm ze studniami kontrolnymi co około 50 m i wylotami co około 100 m do rowu przyzaporowego, uchodzącego do zbiornika wyrównawczego pompowni. Podtapiane i zabagnione przedpole zapory było odwadniane szczegółową siecią rowów melioracyjnych, aktualnie niesprawnych. Zapora została posadowiona w szczególnie niekorzystnych warunkach hydrogeologicznych, gdyż pod powierzchnią warstwą

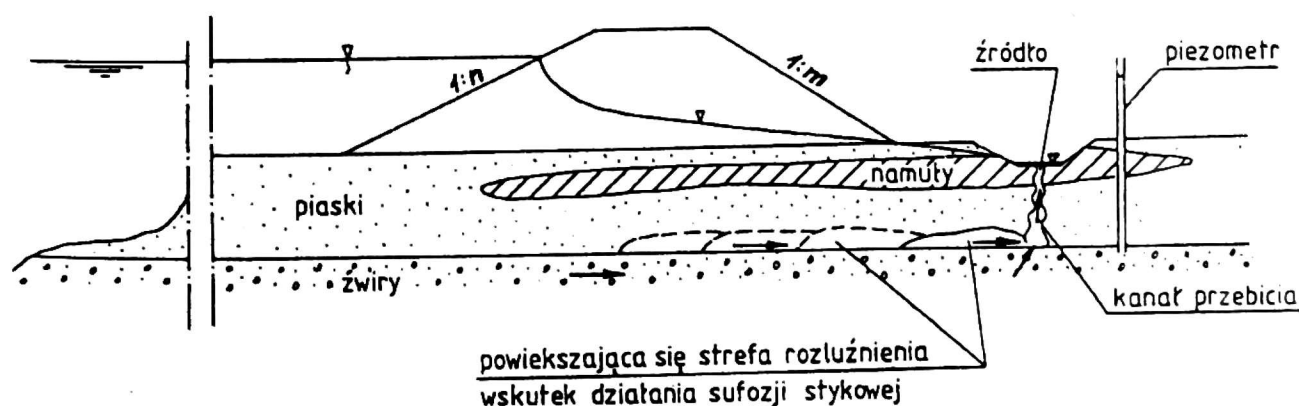


utworów mniej przepuszczalnych (głównie piaski drobne z domieszkami gruntów organicznych), o miąższości około 5 m, zalegają żwiry mające bezpośrednie połączenie ze zbiornikiem [Geoteko 1993b]. Układ taki spowodował powstanie przebicia hydraulicznego w warstwie piasków i w dalszej kolejności sufozję stykową [Weijers i Sellmeijer 1992], polegającą na wynoszeniu gruntu ze spągu piasków przez krater przebicia w dnie rowu (rys. 4). Mechanizm zjawiska rozpoznano sondowaniami. W efekcie sufozji stykowej powstały uszkodzenia od strony odpowietrznej zapory, stanowiące bezpośrednie zagrożenie obiektu [Koda i in. 1993].

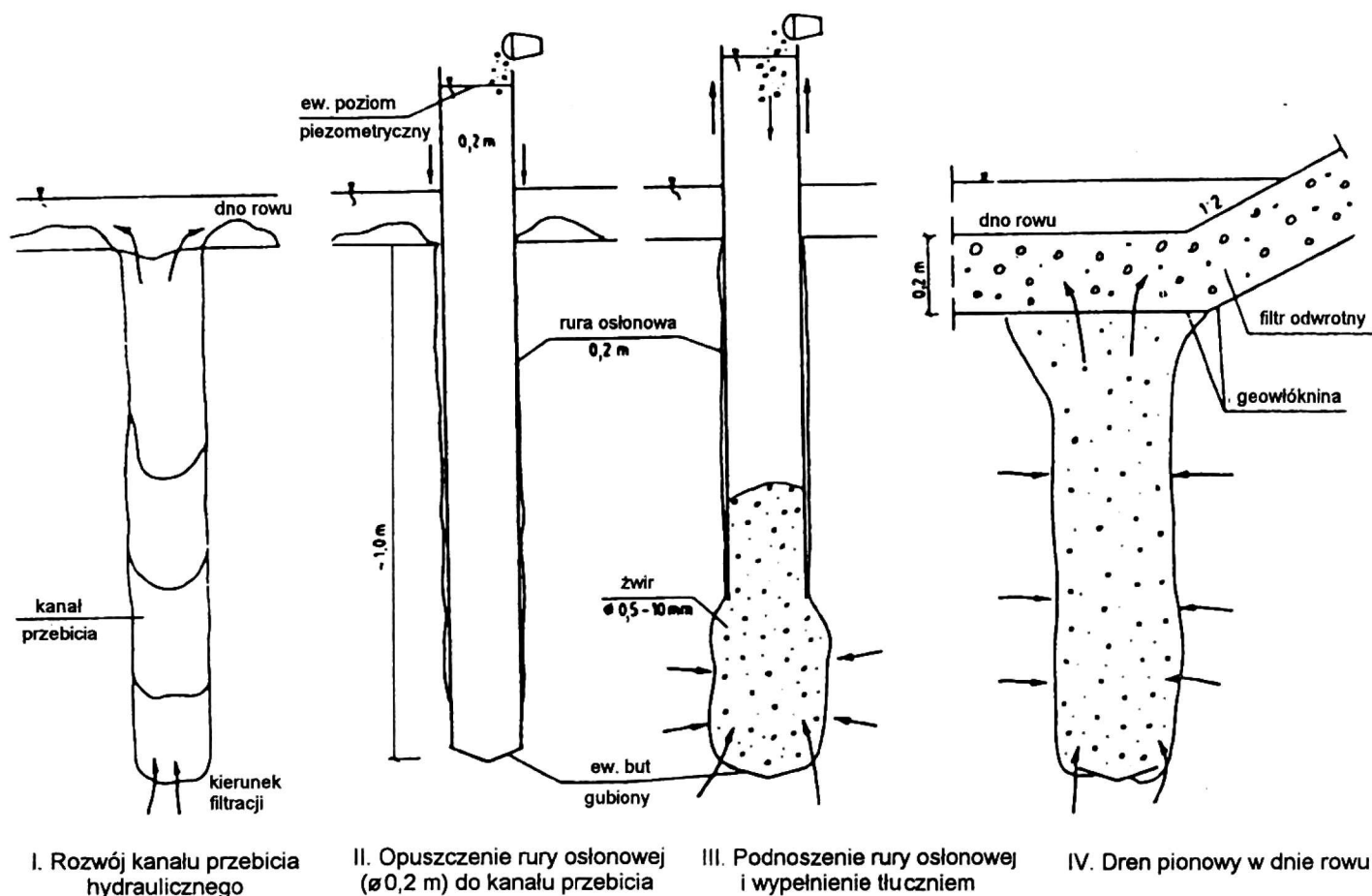
Najistotniejsze zmiany to: rozluźnienie gruntu w strefie rowu i skarpy odpowietrznej, intensywna filtracja rozwijająca się w czasie, wysiaki wody na skarpach rowu, intensywne przebicia hydrauliczne w dnie rowu, zamulenie rowu materiałem wynoszonym z podłoża, kolmatacja drenażu i jego częściowe podtopienie.

Remont zapory musiał być przeprowadzony przy utrzymaniu pełnego ciśnienia w zbiorniku, co stanowiło bardzo istotne utrudnienie i zagrożenie. Opracowując projekt remontu przyjęto generalne założenie, że istniejący drenaż ze wzglę-

du na swoje zużycie nie będzie traktowany jako element podstawowy i niezawodny. Prowadzone roboty związane z czyszczeniem rurociągów, naprawą wylotów, przebudową i wykonaniem dodatkowych odprowadzeń potraktowano jako dodatkowe zabezpieczenie. Całość wód filtrujących przez zaporę powinien przejąć przebudowany rów i dodatkowy drenaż [Geoteko 1994]. Występujące w dnie i na skarpach rowu przebicia hydrauliczne (ponad 40 kanałów) zinwentaryzowano. Większość z nich ujęto pionowymi drenażami żwirowymi wykonanymi w rurach osłonowych (rys. 5). Prace te okazały się jednak trudne, ponieważ kanały przebicia często zmieniały swe położenie. Rów przyzaporowy poszerzono i pogłębiono, tak aby zapewnić mu sprawność hydrauliczną. Roboty ziemne w rowie ograniczono do niezbędnego minimum, aby nie powodować dodatkowego wzrostu niebezpiecznych gradientów hydraulicznych. Nachylenie skarp rowu przyjęto 1:2, a szerokość w dnie zmienną w zależności od przepływów (od 0,5 do 3,0 m). Rów ubezpieczono warstwą narzutu kamiennego o grubości 20 cm (rys. 5). Ponieważ roboty prowadzono pod wodą, przy niestabilnym gruncie, filtr odwrotny wykonano z "włókniny melioracyjnej" o



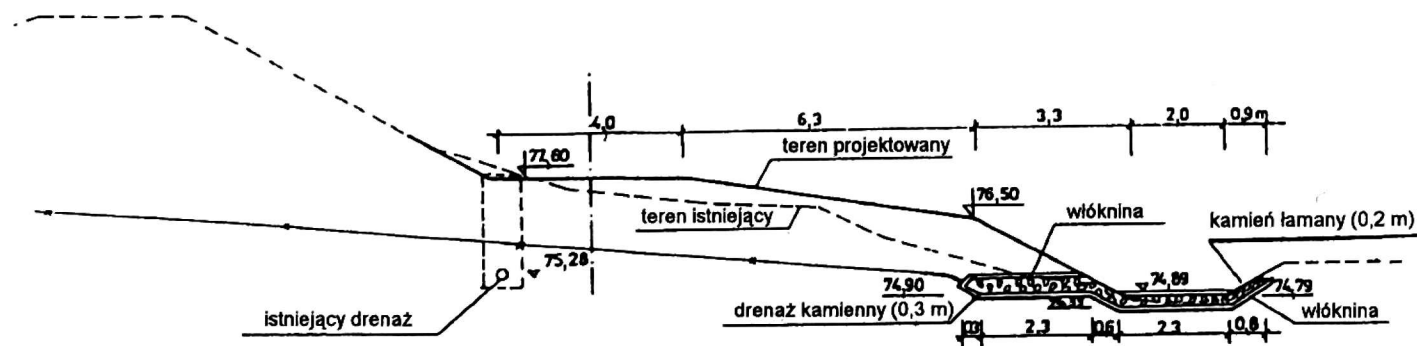
Rys. 4. Schemat mechanizmu przebicia hydraulicznego i sufozji stykowej [Koda i in. 1993]



Rys. 5. Zastosowana technologia ujęcia przebieć hydraulicznych w dnie rowu

grubości 8 mm. Rodzaj włókniny został dobrany na podstawie wyników laboratoryjnych badań parametrów hydraulicznych (w tym blokowania porów powietrzem) i mechanicznych. Zrealizowany typ ubezpieczenia okazał się elastyczny, wytrzymały i sprawny hydraulicznie. Ubezpieczenie rowu połączone z dywanowym drenażem kamiennym (kamień  $\varnothing 10\div 60\text{ mm}$ ) o szerokości 3,0 m i grubości warstwy 0,2 m w otulinie włókniny

melioracyjnej, zlokalizowanym w podstawie skarpy odpowietrznej (rys. 6). W celu zabezpieczenia przed przemarzaniem podniesiono półkę odpowietrznej skarpy zapory. Projekt przewidywał realizację robót odcinkami o długości 20 m, poczynając od górnego końca rowu. Ze względu na intensywną filtrację prace wykonywano odcinkami długości 4 m (dwie szerokości włókniny) z zachowaniem następującej kolejności: wykop ro-



Rys. 6. Ubezpieczenie rowu przyzaporowego i drenaż kamienny przy zaporze Białobrzegi

wu i skarpy, ujęcie lokalnych przebieg narzutem kamiennym, zatopienie włókniny, formowanie narzutu kamiennego i zasy-pywanie drenazu. O trudności robót może świadczyć fakt, że w jednym miejscu koparka zapadła się w luźny grunt na głębokość gąsienic. Mimo skomplikowanych warunków prace wykonano starannie. Po wykonaniu robót remontowych, od ponad roku, zapora pracuje bezpiecznie.

## Wnioski

Omówione dwa przypadki remontów zapór, jak również spostrzeżenia związane z realizacją projektów robót skłaniają autorów do sformułowania następujących uwag ogólnych:

- W przypadkach remontu drenażu zapór najczęściej niezbędne okazują się rozwiązania nowe, dostosowane do warunków lokalnych. Renowacja istniejących systemów ma zazwyczaj ograniczoną skuteczność i stwarza ryzyko dodatkowych uszkodzeń.
- Prace remontowe prowadzone są najczęściej w warunkach występowania dużego uwilgotnienia gruntu spowodowanego niesprawnością drenażu. Dlatego też należy dążyć do jak najmniejszego rozkopywania osłabionego korpusu budowli i podłoża oraz do obniżania w okresie budowy ciśnień i gradientów hydraulicznych.
- Prace remontowe powinny być prowadzone bardzo krótkimi odcinkami. Otwieranie szerokiego frontu robót jest niedopuszczalne, gdyż zagraża bezpieczeństwu obiektu.

- Każda zapora wymaga indywidualnego podejścia i zastosowania rozwiązań specyficznych i optymalnych. Nie jest możliwe opracowanie zaleceń uniwersalnych. Obie analizowane zapory są konstrukcyjnie podobne, ich remont wymagał jednakże zastosowania różnych rozwiązań projektowych i różnej organizacji robót.

## Literatura

- BRAUNS J., GOTTHAIL K.M. 1991: *The effect of drain strips in dams and dikes*. XVII Congres ICOLD, Vienne, Q. 67, R. 6, 99–109.
- GEOTEKO. 1992a: *Zapora Koszyce na rzece Ruda w Pile. Usunięcie skutków osiadania – remont*. PTJ, Geoteko, Wesoła-Warszawa.
- GEOTEKO. 1992b: *Zapora Koszyce na rzece Ruda w Pile. Budowla upustowa – remont*. PTJ, Geoteko, Wesoła-Warszawa.
- GEOTEKO. 1993a: *Odwodnienie zbocza rzeki Rudy poniżej jazu zbiornika wodnego Koszyce*. PTJ, Geoteko, Wesoła-Warszawa.
- GEOTEKO. 1993b: *Ocena stanu technicznego zapór bocznych zbiornika Dębe. Wyniki badań geotechnicznych zapory Białobrzegi*. Geoteko, Wesoła-Warszawa.
- GEOTEKO. 1994: *Ocena stanu technicznego zapór bocznych zbiornika Dębe. Projekt remontu zapory bocznej Białobrzegi*. PTJ, Geoteko, Wesoła-Warszawa.
- KODA E., MIRECKI J., SZYMAŃSKI A., WOLSKI W., PAWŁAT H. 1993: *Ocena systemowa zagrożeń zapory bocznej Białobrzegi*. X Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Warszawa. Vol. I, 265–272.
- VEB. 1975: *Empfehlung für die Vorbereitung den Bau und Betrieb von wasserwirtschaftlichen Kleinspeichern vom Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft*. VEB, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- WEIJERS J.B.A., SELMEIJER J.B. 1992: *A new model to deal with the piping mechanism*. GEO-FILTERS'92, International Conference on Filters Phenomena in Geotechnical and Hydraulics Engineering, Karlsruhe, 349–355.