

dr inż. Krzysztof Radzicki

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej

Analiza pracy wałów przeciwpowodziowych z ekranem szczelnym z geomembrany w czasie powodzi w 2010r.

Analysis of the levees work with the geomembrane on the upstream face during flood in 2010r.

dr inż. Krzysztof Radzicki

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej

Streszczenie. Powódź w maju i czerwcu 2010r zweryfikowała poprawność stosowanych w ostatnich latach rozwiązań projektowych i wykonania nowo-budowanych i modernizowanych wałów przeciwpowodziowych oraz zachowania się pod obciążeniem materiałów stosowanych w ich konstrukcji. Wśród różnych proponowanych rozwiązań tych obiektów, jednym z popularniejszych, zwłaszcza przy modernizacji już istniejących wałów, jest uszczelnienie obiektu w postaci ekranu szczelnego z geomembrany w skarpie odwodnej wału, oraz o ile to konieczne, przesłona przeciwfiltracyjna w stopie odwodnej wału (zwykle niedogłębiona).

Niniejszy artykuł opisuje kilka, wybranych przypadków charakteryzujących prace wałów z ekranem wykonanym z geomembrany uszorstkowanej oraz geomembrany z szykanami, w czasie powodzi 2010r. W przypadkach zaistnienia uszkodzeń wału próbowano zidentyfikować ich przyczynę, niejednokrotnie powiązaną z lokalnymi uwarunkowaniami przepływu wody lub jakością wykonania obiektu.

Abstract. Flood that has occurred in May and June 2010 in Poland has verified the correctness of the design and the quality of the construction work of new and modernized levees as well the different materials behavior under hydraulic loadings that are used for the levees construction.

One of popular design solution of the levees modernization is the upstream face geomembran waterproof element. In the paper we present some examples of this type construction works during flood in 2010r. In the cases of their local damages we try to recognize its causes, often linked to the particular water flow loadings or to the quality of the construction work.

1. Wprowadzenie

Zastosowanie uszczelnień geomembranowych w ziemnych budowlach hydrotechnicznych sięga początku lat siedemdziesiątych i w tym zakresie wyprzedziło nawet aplikację podobnych rozwiązań w Europie [1]. W ciągu tego okresu wykształciły się i zmieniały preferowane rozwiązania projektowe oraz nastąpił znaczący rozwój samych geomembran. Kolejne powodzie, zwłaszcza w roku 1997 i 2001 zweryfikowały przyjęte rozwiązania projektowe oraz jakość i poprawność wykonawstwa wałów. Wnioski dotyczące powyższych zagadnień sformułował i przedstawił Ambrożewski [1] oraz nieco później Borys [2,3,5]. Istotną wiedzę o projektowaniu uszczelnień z folii przynosi również norma branżowa [7].

Kolejna, zeszłoroczna powódź w lecie 2010r, która nawiedziła zlewnię rzeki Wisły spowodowała bardzo liczne uszkodzenia oraz katastrofy wałów przeciwpowodziowych, które pracowały niejednokrotnie w obciążeniach obliczeniowo zbliżonych dla przepływu wody kontrolnej.

W niniejszym artykule autorzy, po charakterystyce modernizacji wału z zastosowaniem ekranu z geomembrany w skarpie odwodnej wału, opisują oraz analizują kilka wybranych przypadków

wałów przeciwpowodziowych z tego typu rozwiązaniem oraz ich uszkodzeń, które nastąpiły w wyniku powodzi letniej w 2010r.

2. Podstawowe informacje dotyczące zastosowania ekranu szczelnego z geomembrany na wale przeciwpowodziowym

Informacje ogólne

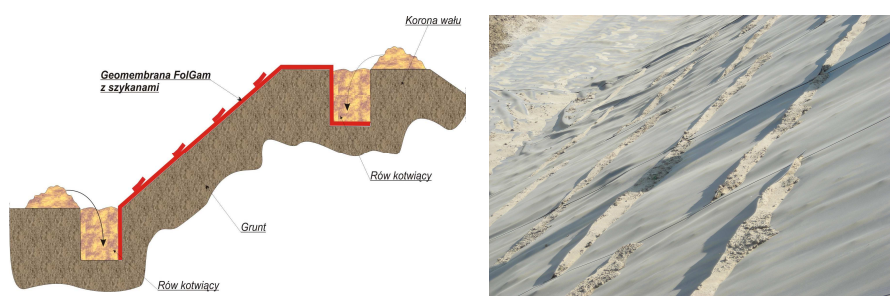
Geomembrana jest syntetyczną, nieprzepuszczalną folią. Obecnie najczęściej stosowanymi w wałach przeciwpowodziowych są geomembrany grubości 2mm i 2,5mm z polichlorku winylu (PVC) lub folie z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE). Trwałość geomembran określa się na minimum kilkadziesiąt lat. Pasy geomembrany układane na skarpie wału powinny zachodzić na siebie na zakładkę szerokości minimum 10cm. Zakładki są zgrzewane podwójnym zgrzewem z pozostawieniem kanału powietrznego między spoinami, który służy do kontroli szczelności połączenia, metodą ciśnieniową.

Szorstkowość geomembrany oraz stabilność przysypki

Geomembrany, w zależności od planowanej aplikacji powinny spełniać szereg właściwości określonych właściwymi normami, między innymi [8]. Z kolei normy [9,10], określają metodologie wyznaczania kąta tarcia na styku geomembrana-grunt, który jest jednym z kluczowych parametrów geomembrany w aspekcie jej instalacji jako ukośnego ekranu odwodnego.

Wykorzystanie rowu kotwiącego geomembranę w koronie wału, dla wysokości wałów istniejących w Polsce sięgających maksymalnie 6-7m w zasadzie wyklucza zsuniecie się geomembrany po skarpie. Natomiast istotnym zagadnieniem, które należy brać pod uwagę jest stabilność przysypki geomembrany [7], która zależy od szorstkości geomembrany, rodzaju gruntu wbudowanego jako przysypka oraz wartości spadku w którym położona jest geomembrana. Niedostosowanie tych parametrów prowadziło niejednokrotnie do obsuwów przysypki po ekranach szczelnych [1].

Z powyższych powodów celem poprawienia stabilności przysypki rozwijane są nowe rodzaje produktów geosyntetycznych o zwiększonych parametrach tarcia ich powierzchni. Początkowo na wałach stosowano geomembrany gładkie. Kolejnym etapem było stworzenie geomembran uszorstkowionych i wytłaczanych w których odpowiednio do geomembrany jest doklejan lub wytłaczany w niej jest dodatkowy wzór zwiększający szorstkość. W 2008r firma Gamrat opracowała geomembranę szykanowaną (Rys.1). Geomembrana ta składa się z geomembrany uszorstkowanej, do której poprzecznie doklejone są kilkunastocentymetrowe paski geomembrany znacząco poprawiające jej szorstkość [11]. Przykład obiektu gdzie zastosowano ten typ geomembrany zostanie opisany w dalszej części artykułu. Ten sam producent geomembran wraz z firmą Taboss, opracowali w 2010r. nowy produkt stanowiący połączenie geomembrany szykanowanej oraz geokraty. Rozwiązanie to stosowane jest w stabilizacji skarp przydrożnych, ale również proponowane jest jako ekran szczelny dla wałów [11]. Wypełnienie geokraty gruntem oraz położenie warstwy humusu na geokracie pod rozwój darniny eliminują konieczność wykonania klasycznej przysypki ekranu.



Rys. 1. Przykład geomembrany z szykanami (fot. GAMRAT S.A. Jasło)

W przypadku wałów przeciwpowodziowych, w przysypkę ponad ekranem szczelnym nie wbudowuje się gruntów średnio, zwięzła i bardzo spoistych. Związane to jest z koniecznością zachowania odpowiedniego reżimu technologicznego przy wbudowaniu gruntów spoistych, oraz z koniecznością zaprojektowania łagodnego nachylenia geomembrany. Z gruntów mało spoistych, dla typowych spadków ekranów wałów przeciwpowodziowych z geomembran do wbudowania w ich przysypkę, mogą być użyte w zasadzie, wyłącznie piaski gliniaste. Niepoprawne przyjęcie parametrów gruntu w stosunku do nachylenia ekranu, jak również błędy wykonawcze polegające na wbudowaniu w przysypkę gruntów innych niż przewidziane w projekcie, lub niewystarczające zagęszczenie gruntu, skutkują typowym rodzajem uszkodzeń korpusu wału z ekranem odwodnym to jest obsunięciem się przysypki ekranu. Ten typ uszkodzeń był wykazany na przykład przez Ambrożewskiego [1]. Uszkodzenie to może powstać z powodu szybszego obniżania się zwierciadła wody w korycie po przejściu fali powodziowej w stosunku do wolniejszego obniżania się zwierciadła wody w przysypce. Powoduje to wytworzenie się ciśnienia spływowego w warstwie przysypki w kierunku opadającego zwierciadła wody. Równocześnie z powodu małego kąta tarcia pomiędzy nawodnionym gruntem spoistym a geomembraną wytworzyć się może warstwa poślizgu. Wartości kątów tarcia dla typowych rodzajów geomembran oraz różnych gruntów, w różnym stanie nasycenia wodą, w tym dla geomembrany uszorstkowanej oraz z szykanami, przedstawia artykuł Borys [4] oraz norma [7].

Norma ta zaleca każdorazowe obliczenie stabilności przysypki na folii. W przypadku budowli hydrotechnicznych wyższych od 5m, zaleca badania tego zagadnienia na wielkowymiarowym stanowisku doświadczalnym, w tym uwzględniając szybkie zmienności stanu zwierciadła wody. Szorstkość pomiędzy geomembraną lub przysypką może być zwiększona za pomocą wprowadzenia warstwy przejściowej gruntu niespoistego lub polipropylenowej maty antyerozyjnej z nieregularną strukturą przestrzenną (zakotwioną w rowie w koronie wału). Należy jednak równocześnie zaprojektować w stopie wału odprowadzenie wody z warstwy przejściowej, a dodatkowo w przypadku maty upewnić się, że utrzyma ona przysypkę, biorąc pod uwagę wytrzymałość maty na rozciąganie.

Przekrój typowy wału z ekranem z geomembrany

W zasadzie dopiero z początkiem nowego tysiąclecia wykształcił się uznany standard dotyczący typowego przekroju wału z ekranem z geomembrany (przykładowo [12]). Rozwiązanie to charakteryzuje między innymi łagodniejszy spadek skarpy odwodnej od spadku geomembrany, co tworzy tak zwany klin podparcia poprawiający stabilność przysypki geomembrany. Typowe spadki to 1:2 oraz 1:2,5 odpowiednio dla geomembrany oraz skarpy odwodnej. Stosuje się wspomniane wcześniej zakotwienie geomembrany w koronie wału za pomocą rowu kotwiącego o wymiarach przekroju 0,5x0,5m, biegnącego w koronie na całej długości ekranu. W przypadku istnienia przesłony szczelnej w podłożu, koniec geomembrany wywijany jest na oczep przesłony na głębokość minimum 1m. Przed instalacją ekranu, istniejący korpus wału jest dogęszczany.

Powyższe, praktykowane rozwiązanie projektowe ugruntowało przedstawienie ich przez Borys w poradnikach IMUZu [3,5] dotyczących modernizacji wałów przeciwpowodziowych. Inne poprawnie rozwiązania projektowe odmienne od przedstawionego powyżej są jak najbardziej dopuszczalne w aplikacji.

Równie istotne jak samo rozwiązanie konstrukcyjne korpusu wału jest odpowiednie zaprojektowanie uszczelnienia podłoża wału w przypadku stref o zwiększonej wodoprzepuszczalności. Jednakże, szczegółowa analiza tego zagadnienia nie jest przedmiotem niniejszego artykułu.

3. Przypadek lewobrzeżnego wału Wisły powyżej Tarnobrzegu

3.1 Ogólny opis wału

Przedmiotem opisu jest sześciokilometrowy odcinek lewobrzeżnego wału klasy II, rzeki Wisły zlokalizowany powyżej Tarnobrzegu. Przedmiotowy odcinek wału został zmodernizowany w 2009r według rozwiązania projektowego, które zakładało między innymi: podwyższenie i wyprofilowanie korony o szerokości 3m; zabezpieczenie przeciwfiltracyjne korpusu wału w postaci ekranu w skarpie odwodnej z geomembrany gr. 2mm z szykanami w spadku 1:1,5; nachylenie skarpy odwodnej wału do 1:2; wyrównanie skarpy odpowietrznej do spadku 1:2; ograniczenie filtracji w strefach jej nasilenia w podłożu wału, ścianką stalową z oczepem betonowym.

Istniejący korpus wału przed modernizacją zbudowany był z różnorodnych gruntów w tym bardzo spoistych jak gliny pylaste poprzez piaski gliniaste do soczewek gruntów niespoistych (piaski średnie niejednokrotnie w stanie luźnym). Projektant określił wymóg wykonania projektowanych nasypów wału z gruntu piaszczystego pochodzącego z rezerwy oraz z gruntu rodzimego pochodzącego z rozbiórki korpusu w stosunku 50% na 50%.

Przedmiotowy odcinek wału został zmodernizowany w całości w 2009r. w kilku etapach i przez różnych wykonawców. Powódź, która miała miejsce w lecie 2010r. wystąpiła kilka miesięcy po ukończeniu prac, a więc jeszcze przed osiągnięciem pełnej wytrzymałości darni (zwykle potrzeba na to 2 lat). Wał spełnił swoją funkcję w wyjątkowych warunkach pracy, przy stanach wody zbliżonych do stanu wód kontrolnych oraz przy długim czasie przejścia fali powodziowej.

Na całej 6km długości modernizowanego wału, na dwóch jego odcinkach długości około 200m i 1km zaobserwowano istotne uszkodzenia skarpy odpowietrznej wału, które jednak nie zagrażały jego bezpieczeństwu.

Oprócz tych uszkodzeń zaobserwowano nieliczne i niewielkie rozmycia przysypki geomembrany lub wyboje do 0,5m głębokości w pobliżu stopy odwodnej wału, spowodowane prawdopodobnie lokalnymi zawirowaniami przepływu, które nie będą tutaj omawiane. Zaobserwowano również nieliczne i niewielkie wysięki w stopie odpowietrznej wału, prawdopodobnie nie stanowiące zagrożenia dla jego bezpieczeństwa. Niemniej z powodów braku modeli numerycznych, trudno ocenić wielkości prędkości filtracji i wartości wyporu. Przy długo trwających stanach fali powodziowej, oraz niedogłębionej ścianie szczelnej, należy się spodziewać wysięków na terenie zawala i trzeba odpowiednio zabezpieczyć przed nimi stopę odpowietrzną wału. Przykład takich rozwiązań zostanie przedstawiony w rozdziale 4.

3.2 Uszkodzenia wynikające z lokalnych warunków przepływu wód

Na pierwszym z wymienionych odcinków na którym wystąpiły uszkodzenia wału o długości około 200m, w odległości około 10-15m od stopy wału znajduje się linia drzew, niewielkiego lasu (Rys 2a). W czasie powodzi miał miejsce ukierunkowany, nasilony przepływ wody w przestrzeni pomiędzy linią drzew a wałem. Kumulacja strumienia w połączeniu z istnieniem rampy wałowej (Rys. 2a) która prawdopodobnie spowodowała powstanie wiru doprowadziły do rozmycia podłoża odwodnej stopy wału. Utrata podparcia spowodowała z kolei zsuniecie się części przysypki geomembrany (Rys.2b).



Rys. 2. Uszkodzenia stopy i skarpy omawianego lewobrzeżnego wału Wisły, odcinek 1-szy (fot. autora)

Można stwierdzić, że zastosowane rozwiązanie projektowe, zabezpieczyło wał przed katastrofą mimo wyjątkowych warunków pracy. Ekran z geomembrany nie został uszkodzony. Istotne okazało się również zastosowanie, na całej długości przedmiotowego odcinka, ścianki stalowej w podłożu, która podtrzymała skarpy wału. W przypadku ścianki na przykład wąskoszczelinowej bentonitowo-cementowej, jej wytrzymałość mogłaby być niewystarczająca. Stwierdzono prawidłowe dogęszczenie przysypki która została wykonana z gruntów mało spoistych i niespoistych

3.3 Uszkodzenia przysypki długości 1km

Drugi odcinek wału z uszkodzeniami na długości 1km charakteryzuje brak zadrzewień mogących powodować lokalne zawirowania czy ukierunkowany przepływ wody w kierunku wału. Modernizacja tego odcinka została wykonana przez innego wykonawcę niż pozostałych. Na całej długości przedmiotowego odcinka nastąpiło obsunięcie przysypki ekranu. Na 700m długości odcinka, obsunięcie to widoczne jest w spękaniach i sfalowaniach skarpy odwodnej. Natomiast na początkowych 300m odcinka nastąpiło ponadto znaczące odspojenie przysypki od korony obiektu (Rys. 3a). W tym obszarze jest również zlokalizowana rampa wałowa, stanowiąca podparcie skarpy odwodnej, biorąc pod uwagę warunki stateczności tej skarpy. Pomimo tego podparcia miało miejsce odspojenie przysypki ekranu, nawet dla różnicy wysokości mniejszej niż 1m pomiędzy koroną wału a rampą (Rys. 3b).



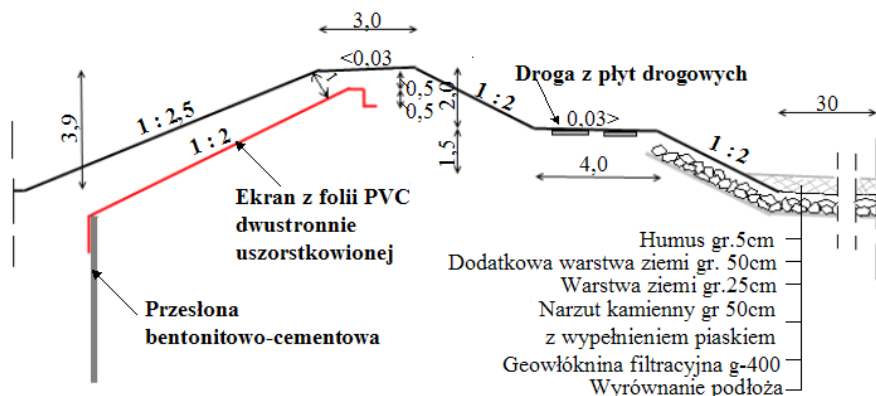
Rys. 3. Uszkodzenia omawianego lewobrzeżnego wału Wisły, odcinek 2-gi (fot. autora).

Z analizy operatu powykonawczego wynika, że inwestycja została zrealizowana zgodnie z projektem, ale badaniami zagęszczenia nie objęto przysypki geomembrany. Na przedmiotowym odcinku stan roślinności na skarpach wskazuje na nieudany obsiew trawą oraz duże zachwaszczenie. Wiercenia kontrolne wykonane po powodzi w 2010r. wykazały obecność gruntów niejednorodnych, głównie spoistych w warstwie gruntu przykrywającej ekran. Powołująca się na nie ekspertyza stwierdza, że wykonawca robót do przykrycia folii w pierwszej kolejności użył gruntu pochodzący z rozbiórki części istniejącego korpusu. W ekspertyzie zaleca się naprawę uszkodzeń przedmiotowego odcinka wału w ramach gwarancji powykonawczej.

4. Przypadek prawobrzeżnego wału Wisły poniżej Sandomierza

4.1 Ogólny opis wału i projektu jego modernizacji

Opisywany odcinek wału długości około 6km tworzy fragment prawobrzeżnych obwałowań rzeki Wisły w dolinie Janiszowskiej. Jest to obiekt II klasy. Korpus budowli zbudowany został z gruntów gliniasto-pyłastych oraz piaszczystych. Podłoże wału stanowi gruboławicowe żwiry-piaszczyste przykryte na zawalu cienką, niejednokrotnie nieciągłą warstwą gruntu gliniasto-pyłastego. Projektant w zakresie modernizacji wału zaprojektował między innymi: wyrównanie rzędnej korony oraz jej poszerzenie do 3m, uszczelnienie skarpy odwodnej ekranem z geomembrany uszorstkowanej grubości 2,5mm położonej w spadku 1:2 z przysypką, zwiększenie stateczności skarpy odwodnej poprzez nadanie jej nachylenia 1:2,5, wybudowanie ławy przywałowej wraz z drogą eksploatacyjną, nadanie nachylenia skarpie odpowietrznej 1:2, uszczelnienie podłoża w stopie wału niedogłębioną przesłoną szczelną połączoną z geomembraną. Przekrój typowy zmodernizowanego wału przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Przekrój typowy zmodernizowanego wału na omawianym odcinku (za projektem [11]).



Rys. 5. Realizacja filtra odwrotnego na zawalu oraz ekranu z geomembrany dwustronnie uszorstkowanej firmy Gamrat (fot. autora).

Wykonano dokładne modelowania numeryczne różnych wariantów przesłony lub ekranu w podłożu dla różnych ich długości. Przyjęta długość przesłony w podłożu zapewnia ciągłość przepływu wód gruntowych pomiędzy międzywalem i zawalem oraz bezpieczne wartości prędkości filtracji w podłożu nawet przy długim czasie trwania wezbrania. Jednocześnie modelowania numeryczne wału wykazały pewność wystąpienia wysięków oraz duże prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk sufozyjnych oraz prawdopodobieństwo wyparcia cienkiej warstwy gruntów spoistych na zawalu obiektu. Z powyższych powodów projektant zaprojektował zabezpieczenie stopy odpowietrznej wału jak i terenu zawala w odległości 30m od wału geowłókniną dociążona narzutem kamiennym. Rysunek 5 przedstawia realizację filtra zawala oraz ekranu z geomembrany dwustronnie-uszorstkowanej.

Wykonanie uszczelnień w podłożu wału jest bardzo kosztowne. Precyzyjna analiza gabarytów uszczelnień za pomocą modelowań numerycznych może pozwolić niejednokrotnie zaoszczędzić inwestorowi znaczne środki nieporównywalne z małym kosztem wykonania modelowań. Zysk ten uzyskujemy niejako przy okazji realizacji precyzyjnej, analizy przyjętych założeń projektowych, w zakresie weryfikacji: lokalnych prędkości filtracji, wyporu oraz stabilności skarp, korpusu oraz podłoża. Przykład szczegółowej numerycznej analizy omawianego przypadku jak i innych modernizacji wałów przeciwpowodziowych przedstawia artykuł [6].

4.2 Modernizacja wału w trakcie letniej powodzi w 2010r.

Powódź z lata 2010r. przysłała w trakcie prac pierwszego etapu modernizacji omawianego wału. Na szczęście, wykonawca wykonywał je krótkimi odcinkami. Na przedmiotowym etapie ukończono została przesłona w podłożu, jednakże celem jej realizacji została podcięta stopa odwodna wału. Skarpę odwodną prowizorycznie zabezpieczono folią budowlaną gr. 1mm, kotwiąc ją w przygotowanym już rowie w koronie wału oraz dociążając workami z piaskiem w stopie. Na terenie zawala wykonawca nie zdążył przykryć narzutem kamiennym geowłókniny, którą zaczęła być wynoszona przez wysięki wody (zgodnie z obliczeniami numerycznymi). Proces ten został opanowany po dociążaniu geowłókniny workami z piaskiem. Ostatecznie pomimo skrajnie wyjątkowych warunków pracy, wał został obroniony. Modernizacje dokończono po powodzi.

5. Przelanie się wody przez koronę lewobrzeżnego wału rzeki Łęg koło Sandomierza

W czasie powodzi w lecie 2010r. nastąpiło przerwanie prawobrzeżnego wału rzeki Wisły ochraniającego prawobrzeżną część miasta Sandomierz. Powstała fala płynąc zawalem wzdłuż wału Wisły dotarła do wałów cofkowych prawobrzeżnego dopływu Wisły rzeki Trześniówka, które to rozmyła. Następnie przemieszczając się dalej zawalem osiągnęła kolejny wał cofkowy, to jest lewobrzeżny wał rzeki Łęg. Kilkukilometrowy odcinek przedmiotowego wału zmodernizowano w roku 2006, stosując ekran z geomembrany dwustronnie-uszorstkowanej firmy Gamrat, położony pod przysypką równoległą do skarpy odwodnej. Podłoże wału uszczelniono pionowym trzy metrowym, niedogłęzionym ekranem również wykonanym z geomembrany połączonym z ekranem na skarpie. W stopie odpowietrznej wału wykonano filtry palczaste mające na celu redukcję ciśnień i obniżenie zwierciadła wody w korpusie wału przy długo trwających stanach powodziowych. Rezultaty analizy numerycznej procesów filtracyjnych oraz ciśnień dla przyjętych rozwiązań prezentuje artykuł [6].



Rys. 6. Różne fazy uszkodzenia wału spowodowane przelaniem się fali z zawala (fot. autora).

Fala cofkowa Wisły w korycie rzeki Łęg nie osiągnęła korony wałów, natomiast wysokość fali płynącej zawalem przekroczyła ich rzędne. Nastąpiło przelanie się wody z zawala do rzeki Łęg na kilku odcinkach wału. Spowodowało to liczne uszkodzenia wału. Na rysunku 6 przedstawiono dwie fazy zniszczenia wału na skutek rozmycia. Prawdopodobnie w miejscach gdzie nie zostało rozmyte zakotwienie geomembrany w rowie w koronie obiektu, geomembrana osłoniła skarpe odwodną wału przed całkowitym zniszczeniem. Podkreślimy, że dla każdej budowli ziemnej, odpowiednio niezabezpieczonej, długotrwałe przelewanie się wody przez jej koronę, z dużym prawdopodobieństwem może prowadzić do uszkodzenia korpusu obiektu jak również jego zniszczenia.

6. Wnioski

Modernizacja wałów przeciwpowodziowych z zastosowaniem ekranu z geomembrany na skarpe odwodnej jest jednym z popularnych i ugruntowanych rozwiązań projektowych. Powódź w lecie 2010r. zweryfikowała poprawność projektów i jakość wykonania wałów. Przedstawione w artykule przykłady pokazują że:

- ekran z geomembrany sprawdza się w normalnych oraz w wyjątkowych warunkach pracy wału,
- nowe produkty w zakresie geosyntetyków takie jak na przykład geomembrana szykanowana, poprawiają pracę ekranu z przysypką,
- kluczowym elementem dla uniknięcia uszkodzeń przysypki podczas powodzi jest staranne jej wykonanie z gruntów wskazanych przez projektanta
- projektant powinien sprawdzić w projekcie stabilność przysypki, biorąc również pod uwagę wpływ ciśnienia spływowego.

Autor artykułu zachęca do analizy przyjętych rozwiązań projektowych za pomocą modeli numerycznych, co pozwala sprawdzić ich poprawność jak również umożliwia optymalizację gabarytów uszczelnień i w konsekwencji pozwala zredukować koszt inwestycji.

Podziękowania

Autor artykułu składa serdeczne podziękowania za informacje uzyskane od firmy Gamrat Jasło, jednego z czołowych producentów geomembran w Polsce, jak również mgr. inż. Piotrowi Radzickiemu z biura projektowego Adeko, oraz profesorowi Zbigniewowi Kledyńskiemu za życzliwe i cenne uwagi.

Bibliografia

1. Ambrożewski Z. *Uszczelnienia z folii polimerowych w polskim budownictwie hydrotechnicznym*. Gospodarka Wodna, nr 12 s.510-517, 2004

2. Borys M., Mosiej K., *Podstawowe problemy przebudowy i modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych*. . Gospodarka Wodna, Nr 4, s. 149—155, 2006
3. Borys M. *Metody modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych z zastosowaniem nowych technik i technologii*. s.122, IMUZ, Falenty, 2006
4. Borys M. *Tarcie na styku geosyntetycznych ekranów w przeciwfiltacyjnych w wałach przeciwpowodziowych*. Woda-ŚrodowiskoObszary Wiejskie, nr 7, s.21-31, IMUZ, Falenty, 2007
5. Borys M. *Projektowanie i wykonawstwo ekranów przeciwfiltacyjnych z geomembran i mat bentonitowych w wałach przeciwpowodziowych i obwałowaniach małych zbiorników wodnych*. s.61, IMUZ, Falenty, 2009
6. Książczyński K., Radzicki P. *Rozwiązania zabezpieczeń przeciwfiltacyjnych wałów przeciwpowodziowych w różnych warunkach hydrogeologicznych*. Gospodarka Wodna, Nr 3, s. 108—118, 2006
7. Norma BN-87/8955-02, *Budownictwo Hydrotechniczne, uszczelnienie zbiorników wodnych folią polimerową, projektowanie, warunki techniczne wykonania*
8. Norma PN-EN 13361:2006, *Bariery geosyntetyczne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy zbiorników wodnych i zapór*
9. Norma PN-EN ISO 12957-1:2007, *Geosyntetyki. Wyznaczanie właściwości tarcia. Część 1: Ścinanie bezpośrednie*.
10. Norma PN-EN ISO 12957-2:2007, *Geosyntetyki. Wyznaczanie właściwości tarcia. Część 2: Pochyła płaszczyzna*
11. Podręcznik techniczny. *Folie i geomembrany izolacyjne*. Jasło: Gamrat SA
12. Projekt budowlany, *Rozbudowa obwałowania rzeki Wisły w dolinie Janiszowskiej, zad.II. Zabętcze-Opoka w km 3+820 (11+900) do 7+080 (15+160)*, gm Annapol, pow. Kraśnik, biuro projektowe Adeko, 2004

dr inż. Krzysztof Radzicki, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, POLSKA
Tel: +48 12 628 28 53, email: radzicki@hotmail.fr