

OCENA SKUTKÓW AWARII ZAPORY ZIEMNEJ ZBIORNIKA RETENCYJNEGO W PRZECZYCACH

Jerzy Machajski

Politechnika Wroclawska

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę skutków hipotetycznego przerwania zapory ziemnej zbiornika retencyjnego Przeczyce na rzece Czarna Przemsza (woj. śląskie). Pracę podzielono na dwie zasadnicze części. W pierwszej przeanalizowano proces rozmycia namywanej zapory zbiornika Przeczyce; wykorzystano przy tym program o nazwie Dam-Breach, przyjmując jako prawdopodobną przyczynę przelanie się wody ponad koroną zapory. Określono czas trwania rozmycia korpusu zapory, parametry wyrwy oraz wielkość wypływu. W części drugiej poddano analizie warunki przemieszczania się hipotetycznej fali powodziowej doliną rzeki Czarna Przemsza, wykorzystując w tym celu program o nazwie Dam-Break. Określono prędkość i czas przebiegu fali wezbraniowej. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach, a biorąc pod uwagę czas dobiegu fali, wyznaczono również potencjalne strefy zagrożenia. Opierając się na wykonanych obliczeniach, zaproponowano dla terenów leżących wzdłuż trasy przebiegu fali powodziowej wywołanej hipotetycznym przerwaniem zapory, system informowania i ostrzegania o możliwym zagrożeniu.

Słowa kluczowe: zapora ziemna, hipotetyczna awaria, propagacja fali powodziowej

WYMÓG OKREŚLANIA SKUTKÓW AWARII

Wymóg określania skutków hipotetycznej awarii obiektów hydrotechnicznych reguluje odpowiednie Rozporządzenie Ministra Środowiska [2007]. Zawarte tam zapisy (§ 24, ust. 2), podkreślają obowiązek określania przebiegu fali wezbraniowej wywołanej zniszczeniem lub uszkodzeniem zapory o wysokości piętrzenia $>2,0$ m lub tworzącej zbiornik o pojemności większej niż $0,2$ mln m^3 . Jednocześnie stwierdza się tam (ust. 3 tegoż paragrafu), że dla obszarów, na których fala wezbraniowa może spowodować zagrożenie życia lub straty w środowisku, należy:

- zainstalować systemy ostrzegawcze,
- wykonać zabezpieczenia chroniące ludność, przemysł itp.,
- wskazać drogi ewakuacyjne oraz opracować plan działań.

CO CHCEMY UZYSKAĆ

Przystępując do analizy skutków hipotetycznego uszkodzenia zapory ziemnej, stawiamy sobie pytanie, co chcemy uzyskać. Na pierwszy plan wysuwa się określenie możliwej przyczyny uszkodzenia. W zestawieniach przyczyn uszkodzeń zapór ziemnych zbiorników retencyjnych, które zdarzyły się w ostatnich kilkudziesięciu latach, jako przyczyna główna zawsze wymieniane jest przelanie się wody ponad koroną budowli spowodowane albo błędnym szacunkiem przepływów obliczeniowych, albo niewłaściwym doбором parametrów bloku zrzutowego [Fiedler (red.) 2007]. Ponieważ niezależnie od przyczyny uszkodzenia zawsze w jej wyniku ma miejsce przerwanie zapory ziemnej, dlatego należy określić parametry powstałej w korpusie zapory wyrwy oraz hydrogram wypływu fali wezbraniowej. Charakterystyka tego wypływu stanowi najistotniejszą informację dla dalszych analiz, których przedmiotem jest przemieszczanie się fali doliną rzeki poniżej zbiornika. W ich wyniku musimy uzyskać dane dotyczące zasięgu zalewu, prędkości przemieszczania się fali powodziowej oraz czasu jej dobiegu do poszczególnych interesujących nas przekrojów obliczeniowych.

MOŻLIWA PRZYCZYNA AWARII

Opis obiektu

Podstawowym zadaniem zbiornika retencyjnego Przeczyce o całkowitej pojemności 20,74 mln m³, jest retencionowanie wody na cele komunalne i przemysłowe; pobierana ona jest przez ujęcia istniejące poniżej zbiornika. Jako funkcje uzupełniające wymieniane są: ochrona przeciwpowodziowa, której wyłączną podstawą jest rezerwa forsowana o wielkości 2,946 mln m³, oraz w ograniczonym zakresie rekreacja. Zbiornik powstał w wyniku spiętrzenia wód rzeki Czarna Przemsza zaporą ziemną, zlokalizowaną w km 53+570 jej biegu. Zapora o maksymalnej wysokości 13,50 m została wykonana w technologii hydronamywu z materiałów miejscowych, piasków drobnych i średnich, pozyskanych z czaszy przyszelego zalewu. Długość zapory w koronie 803 m, szerokość korony 5,0 m, szerokość zapory w podstawie 114 m, rzędna korony zapory 291,50 m n.p.m. Skarpę odwodną zapory o nachyleniu 1 : 4 ubezpiecza ekran z płyt betonowych; skarpa odpowietrzna o nachyleniu 1 : 4 została ubezpieczona przez pokrycie jej powierzchni porostem roślinnym.

Zbiornik oddano do eksploatacji w 1962 roku, kiedy to nie obowiązywały żadne przepisy dotyczące wyboru przepływów obliczeniowych do wymiarowania urządzeń zrzutowych obiektów hydrotechnicznych. Projektanci obiektu wyposażyli go w upust denny trójprzewodowy o parametrach 1,80 × 1,80 m każdy, o całkowitej zdolności przepustowej $Q_u = 64,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dodatkowo od strony lewego przyczółka zaproponowano przelew powierzchniowy wykonany jako obniżenie w koronie zapory, dający dodatkową możliwość przerzutu przepływu $Q_p = 40,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – od przelewu biegnie bystrze ze sztuczną szorstkością, które w swoim końcowym odcinku poprzez nieckę wypadową i kanał odpływowy łączy się z korytem rzeki Czarna Przemsza poniżej.

Warunki hydrologiczne

Rzeka Czarna Przemsza jest rzeką kontrolowaną hydrologicznie: do przekroju zbiornika występują dwa przekroje wodowskazowe, z których za miarodajny na potrzeby projektu omawianego obiektu przyjęto przekrój Przeczycze zlokalizowany w km 53+200 biegu rzeki, zamykający zlewnię o powierzchni $A_z = 298,6 \text{ km}^2$, przy powierzchni zlewni zbiornika $A_{zb} = 294,0 \text{ km}^2$. Określone na użytek prac projektowych zbiornika przepływy charakterystyczne wyniosły: $NNQ = 0,350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $SNQ = 0,820 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $SSQ = 1,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $WWQ = 80,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_n = 1,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{doz} = 20,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{dop} = 25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z kolei przepływy o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia przyjęte na potrzeby realizacji prac projektowych wyniosły: $WW_{1\%} = 79,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $WW_{0,1\%} = 105 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W okresie eksploatacji zbiornika odnotowano przejście dwóch znaczących wezbrań powodziowych. Pierwsze miało miejsce w dniach 14–15 maja 1996 roku; odnotowano wówczas przepływ o maksymalnym natężeniu równym $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z wynikowym piętrzeniem na zbiorniku na poziomie 289,35 m n.p.m. Do drugiego doszło rok później w dniach 7–9 lipca 1997 roku; stwierdzono wtedy przepływ o natężeniu większym od $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (wydatek spustów) z wynikowym piętrzeniem na zbiorniku na rzędnej 289,67 m n.p.m.

Na potrzeby realizacji obliczeń związanych z oceną skutków hipotetycznego uszkodzenia zapory zbiornika Przeczycze Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Katowicach określił nowe przepływy prawdopodobne, które wynoszą: $Q_{50\%} = 26,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{1\%} = 92,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{0,5\%} = 103 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{0,3\%} = 113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (woda miarodajna), $Q_{0,05\%} = 149 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (woda kontrolna). Wynika z nich, że z chwilą wystąpienia przepływu zarówno miarodajnego, jak i kontrolnego, istniejące urządzenia zrzutowe mogą okazać się niewystarczające do swobodnego przepuszczenia przepływów obliczeniowych na dolne stanowisko, tym bardziej że z uwagi na brak rezerwy powodziowej stałej redukcja fali przez zbiornik może być za mała.

Możliwa przyczyna awarii

Z dostępnych danych literaturowych [Fiedler 2007] wynika, że w przypadku zapór ziemnych tworzących zbiorniki retencyjne możliwą przyczyną uszkodzenia może być:

- przelanie się wody ponad koroną zapory,
- niekontrolowana filtracja wzdłuż urządzeń spustowych zbiornika,
- niekontrolowana filtracja przez korpus ziemny zapory,
- przebicie hydrauliczne w gruntach podłoża.

Zastanawiając się nad możliwą przyczyną uszkodzenia prowadzącego do powstania wyrwy w korpusie zapory, wzięto pod uwagę zastosowane w obiekcie rozwiązania techniczne, w tym upusty denne przecinające korpus zapory, obecność pionowej przesłony przeciwfiltracyjnej, ubezpieczenie skarpy odwodnej zapory oraz zdolność przepustową urządzeń zrzutowych zbiornika. Ponieważ upusty denne zaopatrzone zostały w żebra poprzeczne zabezpieczające przed powstaniem uprzywilejowanej drogi filtracji wzdłuż ich konstrukcji, w podłożu gruntowym wykonano bariery ograniczające możliwość wystąpienia tam zjawisk filtracyjnych, a na skarpie odwodnej zapory położono dobrze wykonany ekran z płyt żelbetowych, uznano, że największe zagrożenie dla obiektu może stanowić niewystarczająca zdolność przepustowa urządzeń zrzutowych.

Tym samym za najbardziej prawdopodobną (hipotetyczną) przyczynę uszkodzenia zapory zbiornika retencyjnego Przeczyce przyjęto przelanie się wody ponad koroną zapory ziemnej spowodowane dopływem do zbiornika przepływu o natężeniu zbliżonym do określonej na podstawie aktualnych obliczeń zarówno wody miarodajnej, jak i wody kontrolnej, których przy aktualnej zdolności redukcyjnej zbiornika i aktualnej zdolności przepustowej urządzeń zrzutowych nie da się bezpiecznie przezeń przeprowadzić.

SKUTKI USZKODZENIA

Skutki uszkodzenia dla obiektu

W wyniku hipotetycznego przelania się wody ponad koroną zapory ziemnej powstaje wyrwa w korpusie zapory [Szydłowski (red.) 2003], przez którą następuje gwałtowny wypływ wody w ilości wynikającej z parametrów wyrwy i poziomu wody w jej przekroju. Poziom ten utrzymuje się do momentu, w którym tzw. fala ujemna dotrze do górnego końca zbiornika, wówczas następuje prawie natychmiastowe obniżenie poziomu wody w tym przekroju z wynikowym zmniejszeniem ilości wypływającej wody i całkowitym opróżnieniem zbiornika. Z hydraulicznego punktu widzenia powstała w korpusie zapory wyrwa pracuje jak bezprogowy niezatopiony przelew o szerokiej koronie. Kształt wyrwy bywa różny, jej wielkość również; bardzo istotną kwestią staje się pionowy zasięg wyrwy – to, czy znajduje się ona na pewnej wysokości nad podłożem, równo z podłożem czy też poniżej podłoża. Na kształt wyrwy oraz jej zasięg duży wpływ ma rodzaj gruntu wbudowanego w korpus zapory oraz zastosowane w niej rozwiązania konstrukcyjne – obecność parapetu czy drogi o nawierzchni utwardzonej [Szydłowski (red.) 2003].

Znamienne jest, że w bardzo wielu przypadkach obiektów, które uległy uszkodzeniom, nie podjęto ich odbudowy, pozostawiając je w takim stanie, jaki ukształtował się w wyniku rozmycia korpusu ziemnego zapory [Fiedler (red.) 2007].

Skutki uszkodzenia dla terenów leżących poniżej

Woda wypływająca z wyrwy powstałej w korpusie zapory ziemnej w zależności od ukształtowania doliny poniżej albo rozprzestrzenia się prawie natychmiast w obu kierunkach w stronę stoków zamykających dolinę, albo przemieszcza się w dół korytem rzeki i po przyległym terenie. W początkowych fazach obliczeń, wychodząc od teoretycznych opisów procesu rozmywania zapory ziemnej, z wynikowym kształtowaniem się przekroju wyrwy, warto wstępnie określić możliwy zasięg powstałej fali wezbraniowej dla terenów leżących poniżej. W każdym przypadku uszkodzenia zapory tworzącej zbiornik retencyjny istnieje zagrożenie dla życia ludzkiego, szczególnie gdy chodzi o mieszkańców obiektów wznoszących się bezpośrednio poniżej zapory lub znajdujących się na trasie przejścia fali wezbraniowej. Podobnie jest z możliwością powstania znaczących szkód materialnych, szczególnie dotkliwych, gdy zniszczeniu ulegają budynki mieszkalne, infrastruktura komunikacyjna lub uzbrojenie terenu. Analizy obliczeniowe określające obszar potencjalnego zalewu wskazują, że w wypadku badanego zbiornika istnieje zagrożenie zarówno dla ludzi tam mieszkających, jak i dla zagospodarowania terenu.

DOSTĘPNE METODY POSTĘPOWANIA

Istnieje kilka dostępnych metod ustalenia skutków hipotetycznego uszkodzenia dla obiektu oraz dla terenów leżących poniżej. Możliwe jest postępowanie analityczne określające proces zachodzącego rozmycia korpusu zapory ziemnej, opisywane w dostępnej literaturze [m.in. Szydłowski (red.) 2003], a także postępowanie z użyciem dostępnych modeli numerycznych takich jak np. model Dam-Breach zastosowany przez autora. Model ten pozwala określić parametry powstałej w korpusie zapory wyrwy, umożliwia również ustalenie hydrogramu wypływu. Wykorzystuje on dostępne równania opisujące wpływ erozji, prawa hydrauliki ruchu mieszaniny wodno-gruntowej, prawa mechaniki ruchu rumowiska wleczonego (zależność Meyera-Petera-Müllera) oraz mechaniki gruntów. Wymaga jednak dokładnych informacji o gruncie kształtującym korpus zapory i podłoże, jak również o rozwiązaniach zastosowanych w samej zaporze i na jej koronie [Machajski 2001]. Należy m.in. podać opis zapory i zbiornika w postaci rzędnych piętrzeń, posadowienia zapory, szerokości i długości korony zapory, a także nachylenia skarpy odpowietrznej i odwodnej oraz formy ich ubezpieczenia, ponadto cechy wbudowanego w korpus zapory gruntu, w tym średnice charakterystyczne d_{30} , d_{50} i d_{90} , porowatość gruntu, jego ciężar właściwy i gatunkowy, kąt tarcia wewnętrzznego oraz spójność.

Z punktu widzenia analizy zagrożenia spowodowanego awarią zapory ziemnej najistotniejsza w całej analizie jest dokładność prognozowania parametrów przerwania korpusu zapory. Bez tego nie da się uzyskać w miarę rzetelnego ilościowego oszacowania odpływu i wyznaczyć wynikającej zeń wielkości zatopionego obszaru poniżej zapory.

Istnieje również postępowanie z wykorzystaniem modelu fizycznego, ale nadaje się ono raczej do analiz rozprzestrzeniania się fali wynikowej niż do określenia procesu rozmywania korpusu i kształtowania wyrwy.

Wyrwa w korpusie zapory

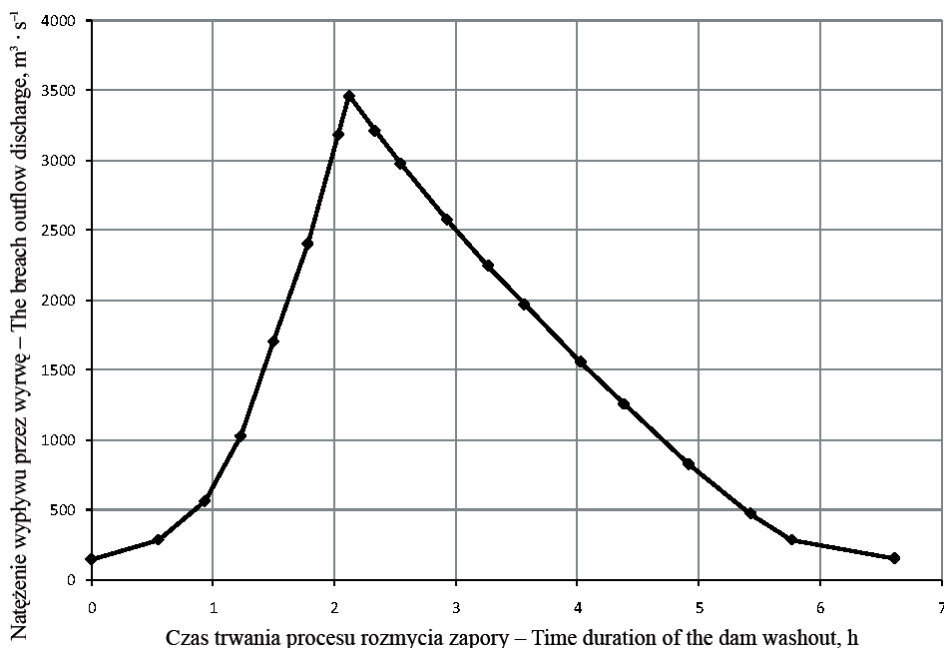
Wyrwę powstałą w korpusie zapory ziemnej opisuje się za pomocą parametrów geometrycznych takich jak:

- głębokość wyrwy definiowana jako pionowa odległość mierzona od korony zapory do podstawy wyrwy,
- szerokość wyrwy definiowana albo jako średnia szerokość otworu powstałego w korpusie zapory, albo jako ujęte oddzielnie szerokości dolnej i górnej krawędzi otworu,
- nachylenie skarp bocznych wyrwy, które łącznie z wysokością i szerokością w pełni określa kształt wyrwy w korpusie i zwykle ma znaczenie drugorzędne, ponieważ ważniejsze jest precyzyjne określenie szerokości wyrwy.

Parametry wyrwy w korpusie zapory zbiornika Przeczycy określono z wykorzystaniem modelu Dam-Brech. Wymagane przez model parametry geotechniczne gruntu korpusu zapory oraz gruntu budującego podłoże przyjęto na podstawie monografii zbiornika Przeczycy [Kocyan 1969]. Dane te zweryfikowano, opierając się na dostępnych opracowaniach dotyczących prac podejmowanych dla zabezpieczenia obiektu przed skutkami niekorzystnych zjawisk filtracyjnych, które dały o sobie znać kilka lat po oddaniu obiektu do eksploatacji.

Określone na podstawie symulacji procesu rozmycia parametry wyrwy w korpusie zapory ziemnej zbiornika Przeczycy są następujące: rzędna dna wyrwy 277,50 m n.p.m.,

maksymalna szerokość wyrwy w jej podstawie 37,70 m, maksymalna szerokość wyrwy w koronie zapory 70,90 m, czas tworzenia się wyrwy 2 godz. 12 min, całkowity czas trwania awarii liczony do momentu opróżnienia zbiornika około 6 godz. 40 min, maksymalne natężenie wypływu wody przez powstałą wyrwę $3460 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Poniżej (rys. 1) pokazano wynikowy hydrogram wypływu wody przez powstałą wyrwę, który następnie przeniesiono do programu Dam-Break w celu stworzenia modelu przejścia powstałej fali powodziowej doliną rzeki poniżej zapory.



Rys. 1. Hydrogram wypływu przez wyrwę w korpusie zapory ziemnej Przeczyce
Fig. 1. Outflow hydrograph from breach of the Przeczyce earth dam body

Propagacja fali powodziowej doliną rzeki poniżej zapory

Ruch fali wezbraniowej powstałej w wyniku przzerwania zapory ziemnej to ruch nieustalony szybko- i wolnozmienny. Początkową fazę wypływu wody przez wyrwę tworzącą się w korpusie zapory zalicza się do ruchu szybkozmiennego, natomiast wynikową propagację doliną rzeki poniżej – do ruchu nieustalonego wolnozmiennego [Sawicki 1998, Kubrak i Ordyniec 1999]. Dostępne w literaturze opisy przebiegu zjawiska wypływu wody z wyrwy [Katopades i Strelkoff 1978, Fiedler (red.) 2007] wskazują, że w przypadku szerokiej doliny poniżej zbiornika – a taką jest dolina rzeki Czarna Przemsza poniżej zapory Przeczyce – obserwuje się rozdział wypływającego strumienia na dwa propagujące wzdłuż zapory. Z chwila osiągnięcia stoków zamykających dolinę, następuje odbicie i powrót w stronę przekroju wyrwy, wówczas też rozpoczyna się właściwa propagacja fali powodziowej. Podstawę obliczeniową zagadnienia propagacji powstałej fali wezbraniowej stanowi układ dwóch równań Saint-Venanta [Sawicki 1998],

które z uwagi na czas trwania procesu rozmycia korpusu zapory, szybkość propagacji oraz opisaną powyżej dwuwymiarowość przebiegu zjawiska wymagają dla ich rozwiązania zastosowania modeli matematycznych.

Podstawę postępowania mającego na celu określenie propagacji powstałej fali wezbraniowej stanowi m.in. model numeryczny Dam-Break zastosowany przez autora. Jest to model oparty na schemacie różnic skończonych rozwiązywania wspomnianego układu dwóch równań ruchu nieustalonego, z możliwością przechodzenia w trakcie obliczeń z ruchu rwącego w spokojny i odwrotnie. Model wymaga podania przekrojów poprzecznych dolinowych oraz ich lokalizacji wzdłuż koryta rzeki poniżej zapory z podziałem na część czynną i bierną przekroju, a także określenia charakterystyki hydraulicznej każdego przekroju w postaci współczynników szorstkości do wzoru Manninga oraz hydrogramu fali wezbraniowej wraz z jego ewentualną zmiennością na długości odcinka obliczeniowego.

Znając wymagania modelu, przystąpiono do obliczeń propagacji fali wezbraniowej powstałej po symulowanym uszkodzeniu zapory ziemnej zbiornika – oparto się na wizji lokalnej odcinka rzeki przyjętego wstępnie na potrzeby badań i przeprowadzono analizę terenu leżącego poniżej pod kątem:

- wyboru przekrojów obliczeniowych,
- ukształtowania wysokościowego doliny,
- zabudowy koryta rzeki obiektami hydrotechnicznymi,
- zabudowy koryta rzeki obiektami komunikacyjnymi z rozgraniczeniem na mosty nisko- i wysokowodne,
- ogólnego zagospodarowania i pokrycia terenu obiektami kubaturowymi, porostem skupionym drzew i krzewów itp.

Wizja lokalna przeprowadzona w terenie pozwoliła również na:

- określenie długości odcinka obliczeniowego poniżej zapory, równego ok. 15 km, dającego w efekcie możliwość wystąpienia całkowitego rozplywu powstałej fali wezbraniowej,
- wytypowanie około 54 przekrojów obliczeniowych w zmiennym rozstawie od 25 do 100 m,
- określenie zmienności współczynnika szorstkości na długości obwodu zwilżanego każdego przekroju,
- inwentaryzację budowli hydrotechnicznych i komunikacyjnych pod kątem ich ewentualnego wpływu na warunki przejścia fali wezbraniowej,
- inwentaryzację przyległych terenów pod kątem ich zagospodarowania i jego wpływu na warunki przejścia fali.

W rezultacie przeprowadzonych obliczeń uzyskano przebieg fali wezbraniowej z określeniem dla każdego z wprowadzonych przekrojów rzędnej czoła fali, prędkości propagacji i czasu dobiegu. Wyniki obliczeń dla kilkunastu najbardziej reprezentatywnych przekrojów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Maksymalne rzędne zwierciadła wody i czasy ich wystąpienia w przekrojach poniżej zapory ziemnej zbiornika retencyjnego Przeczyce

Table 1. Maximum water levels and times of its occurrences in cross-sections downstream the earth dam Przeczyce storage reservoir

Numer przekroju Cross-section number	Kilometr biegu rzeki River course, km	Maksymalna głębokość Maximum depth, m	Rzędna zwierciadła wody m n.p.m. Water level elevation m a.s.l.	Prędkość propagacji Propagation velocity, $m \cdot s^{-1}$	Czas dobiegu czoła fali Time of wave front reach, min
1	53+420	4,87	282,370	2,870	1,80
2	53+180	4,70	281,650	2,720	4,80
3	52+700	4,57	280,820	2,190	10,80
4	52+000	4,21	280,460	1,230	13,80
5	51+500	3,73	279,980	1,640	16,80
6	50+700	3,37	278,620	1,840	25,80
7	50+200	3,03	278,030	1,350	28,80
8	49+700	2,85	277,250	2,250	31,80
9	49+170	2,55	276,410	1,910	34,80
10	48+250	2,35	274,610	1,660	43,80
11	47+000	2,30	273,300	1,090	64,80
12	46+500	2,15	272,420	2,180	67,80
13	45+000	2,07	269,260	1,210	88,80
14	44+100	1,98	268,110	1,400	97,80
15	42+800	1,83	266,450	1,210	118,80
16	41+000	1,62	264,530	1,440	136,80
17	39+500	1,50	261,980	1,540	151,80
18	38+500	1,39	260,090	1,72	163,80

Rezultat końcowy prac

Rezultatem prac nad skutkami symulowanego uszkodzenia zapory ziemnej tworzącej zbiornik retencyjny jest zwykle obwieńdnia obszaru, który w wyniku takiej awarii zostanie zatopiony warstwą wody o zmiennej głębokości. Jednocześnie opierając się na określonej prędkości propagacji na długości odcinka określającego zasięg owej propagacji, podaje się czas dobiegu fali do poszczególnych przekrojów. Na tej podstawie wyznacza się strefy zagrożenia tych terenów w skali od I do IV.

Strefa I obejmuje obszar o czasie dobiegu 15 minut – jest to strefa bez możliwości zorganizowania skutecznej akcji ratunkowej. Dla zbiornika Przeczyce w tej strefie znalazło się kilka budynków mieszkalnych zlokalizowanych na prawym brzegu rzeki. Strefa II

obejmuje obszar o czasie dobiegu czoła fali 30 minut – z tej strefy możliwa jest ucieczka ludzi, jednakże z pozostawieniem dobytku w miejscu zamieszkania. W jej obrębie znalazło się kilkanaście obiektów mieszkalnych i innych wsi Przeczycy, mieszczących się również na prawym brzegu rzeki. Strefa III obejmuje obszar o czasie dobiegu 45 minut, co daje możliwość przeprowadzenia skutecznej akcji z wyniesieniem cenniejszych przedmiotów z zagrożonych obiektów. W strefie tej mieści się kilkanaście obiektów mieszkalnych wsi Podwarężyn. Strefa ostatnia, IV, obejmuje obszar o czasie dobiegu 60 minut – możliwe jest tu przeprowadzenie skutecznej akcji ewakuacyjnej okolicznej ludności. W zasięgu tej strefy pojawiają się pierwsze zabudowania miasta Będzin oraz znaczącego obiektu przemysłowego: huty Łagisza. Zniszczeniu ulegną wszystkie mosty niskowodne znajdujące się na trasie przejścia fali powodziowej, z wyłączeniem dwóch mostów na drogach szybkiego ruchu przecinających koryto i dolinę rzeki Czarna Przemsza.

Opierając się na określonych strefach zagrożenia, zaproponowano wprowadzenie systemu ostrzegania mieszkańców przed możliwą sytuacją awaryjną, wskazano drogi ewakuacyjne oraz miejsca przepędu zwierząt gospodarczych. Częścią tego systemu był modulowany sygnał dźwiękowy syren umieszczonych w takich miejscach, by były one dobrze słyszalne, a ich zasięgi na siebie nachodziły.

PODSUMOWANIE

Podsumowując przeprowadzone analizy i obliczenia, należy podkreślić możliwość wystąpienia uszkodzenia zapory zbiornika Przeczycy spowodowanego niewystarczającą zdolnością przepustową istniejących urządzeń zrzutowych, jak również brakiem możliwości skutecznej redukcji fal obliczeniowych wchodzących w przekrój zbiornika. W wyniku tego istnieje możliwość powstania fali wezbraniowej przemieszczającej się doliną rzeki Czarna Przemsza, stwarzającej zagrożenie zatopienia terenów leżących poniżej zbiornika nawet w odległości do 15 km.

Powstała w wyniku awarii wyrwa w korpusie ziemnym zapory będzie miała przekrój trapezowy, a z uwagi na rodzaj gruntu użytego do budowy korpusu może osiągnąć następujące wymiary: szerokość w dnie 37,70 m i szerokość w poziomie korony zapory 70,90 m, co skutkować będzie wypływem wody z maksymalnym natężeniem $3460 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Obliczony czas trwania rozmycia zapory jest stosunkowo krótki, wynosi tylko 2 godz. 12 min, całkowite zaś opróżnienie zbiornika nastąpi po upływie 6 godz. 40 min.

Określone na podstawie przeprowadzonych obliczeń czasy dobiegu fali powodziowej dają pewną możliwość ostrzeżenia ludzi z bezpośrednio zagrożonych terenów, jednakże z wyłączeniem strefy I, dla której czas dobiegu wynosi tylko 15 minut. Z kolei określone prędkości propagacji powstałej fali wezbraniowej wskazują na brak siły uderzeniowej, a tylko na możliwość zalania przyległych terenów warstwą wody o stosunkowo szybko malejącej głębokości.

Zaproponowany dźwiękowy system ostrzegania oraz określone na podstawie wyznaczonych stref zagrożenia zasady postępowania w wypadku wystąpienia awarii, w tym drogi ewakuacji ludzi i zwierząt, dają możliwość przeprowadzenia sprawniej akcji ratunkowej dla ludności z terenów bezpośrednio zagrożonych.

PIŚMIENNICTWO

- Fiedler K. (red.), 2007. Awarie i katastrofy zapór – zagrożenia, ich przyczyny i skutki oraz działania zapobiegawcze. IMGW Warszawa.
- Katopades N., Strelkoff T. 1978, Computing of Two-Dimensional Dam-Break Flood Waves. J. Hydraul. Divis. 9, 1269–1288
- Kocyan J., 1969. Monografia zbiornika w Przeczycach. Inst. Gospodarki Wodnej Warszawa.
- Kubrak J., Ordyniec Z. 1999. Prognoza fali powodziowej powstałej w następstwie symulowanego uszkodzenia ziemnej zapory czołowej zbiornika „Jeziorsko” na Warcie i zbiornika „Domaniów” na Radomce. Mat. VIII Konf. Technicznej Kontroli Zapór. Zakopane – Kościelisko, 195–206.
- Machajski J., 2001. Analiza skutków przerwania zapory zbiornika retencyjnego Sosnówka na potoku Czerwonka. Mat. XXI Ogólnopol. Szkoły Hydrauliki, Sasino, 17–21 IX, 67–71.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. Dz.U. Nr 86, poz. 579.
- Sawicki J., 1998. Przepływy ze swobodną powierzchnią. PWN Warszawa.
- Szydłowski M. (red.), 2003. Matematyczne modelowanie hydraulicznych skutków awarii zapór wodnych. Monografie Komit. Gosp. Wodnej PAN 22, Warszawa.

THE ANALYSIS OF CONSEQUENCES OF PRZECZYCE STORAGE RESERVOIR EARTH DAM FAILURE

Abstract. Paper presents the analysis of consequences of hypothetical breach of Przeczyce storage reservoir earth dam, located on Czarna Przemsza river (Silesia). The studies were divided on two essential parts. In the first one the process of dam body wash-out applying computer program Dam-Breach has been analysed, assuming dam crest overflow as probable cause of failure. Time duration of dam body washing out, breach parameters and outflow have been determined. In the second part the conditions of hypothetical flood wave routing along the river Czarna Przemsza valley have been analysed applying computer program Dam-Break. Velocity and flood wave passage time have been determined. Results of calculations have been plotted on topographic maps, on which the potential threat zones related to time of wave reach to an analysed cross-section have been marked too. On the basis of calculations, for area located along the flood wave course caused by a hypothetical dam failure, the information and warning system has been proposed.

Key words: earth dam, hypothetical failure, flood wave propagation

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 21.05.2010