

METODYKA OCENY SKUTKÓW AWARII ZAPÓR ZIEMNYCH I BETONOWYCH NA PRZYKŁADZIE ZAPORY CHAŃCZA I ZAPORY BESKO

PIÓRECKI M.

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie, ul. Piłsudskiego 22, 31-109 Kraków, Polska
e-mail: mpiorecki@krakow.rzgw.gov.pl

Streszczenie : Referat dotyczy tematyki związanej z zagrożeniami powodziowymi będącymi skutkiem katastrof budowli piętrzących, jakimi są zapory wodne. Przepisy Dyrektywy powodziowej 2007/60/WE zobowiązują kraje członkowskie do opracowania do końca 2013 roku map zagrożenia i ryzyka powodziowego. Jednym z ekstremalnych rodzajów zagrożeń powodziowych, jaki powinien być uwzględniony w tych dokumentach są zagrożenia wywołane katastrofą zapór zbiorników wodnych.

W ramach przygotowania do wdrażania Dyrektywy powodziowej w powyższym zakresie RZGW w Krakowie w 2009 r. podjął się realizacji wspólnie z Ośrodkiem Technicznej Kontroli Zapór IMGW w Warszawie projektu pilotażowego, którego ostatecznym celem było wyznaczenie stref zalewowych dla założonych scenariuszy katastrofy zapory ziemnej zbiornika w Chańcy i zapory betonowej zbiornika w Besku. W ramach projektu, współfinansowanego z funduszy Norweskiego Mechanizmu Finansowego oraz środków budżetowych dokonano analizy obu obiektów i opracowano scenariusze katastrof (łącznie 97 scenariuszy dla obu zapór). Następnie dokonano obliczeń symulacyjnych, a na podstawie uzyskanych wyników dla fali powodziowej powstałej wskutek katastrofy zapory w dolinie poniżej wyznaczono zasięgi stref zalewowych. W obszarach wyznaczonych stref zalewowych przeprowadzono inwentaryzację zabudowy i infrastruktury zagrożonej w przypadku katastrofy obu zapór.

Równolegle do działań prowadzonych w ramach projektu trwały prace związane z opracowaniem podręcznika metodycznego zawierającego najistotniejsze informacje i wskazówki w zakresie wykonywania w przyszłości podobnych projektów dla innych obiektów piętrzących na terenie kraju. Opracowanie metodyk było jednym z głównych celów projektu i odnosiło się do każdego etapu prac – począwszy od zebrania niezbędnych danych wejściowych, aż do opracowania końcowych map prezentujących zasięgi stref zalewowych i czasy propagacji czoła fali powodziowej.

Słowa kluczowe: katastrofa, zjawisko ekstremalne

Abstract : The paper concerns the subject of flood hazards as a result of dam disasters. The EU Member States are obligated to prepare the flood hazard maps and flood risk maps by the end of 2013 in accordance with the provisions of Flood Directive 2007/60/EC. One of the extreme types of flood hazards that should be considered in these documents are threats caused by dam disasters. In the process of preparation for the implementation of Flood Directive in the above-mentioned scope, the RZGW in Kraków in 2009, undertook the implementation, in partnership with the Dams Monitoring Center of the Institute of Meteorology and Water Management in Warsaw, of the pilot project which final result was to determine floodplains for assumed disaster scenarios of the earth dam Chańca and the gravity dam Besko. Within the project, co-financed by the Norwegian Financial Mechanism and budgetary appropriations, the two objects were analyzed and disaster scenarios (in total 97 scenarios for both dams) were developed. Then simulation calculations have been done and based on the obtained results for the flood wave caused by the dam disaster, the range of floodplain zones were determined in the valley downstream of the dam. An inventory of buildings and infrastructure at risk of flooding in case of disaster of both dams were carried out within the determined floodplain zones.

Parallel to actions under the project the works connected with development of the methodological handbook were carried out. It contains essential information and guidance in carrying out similar projects in the future for the other damming objects in the country. Development of methodologies was one of the main objectives of the project and referred to each phase of the work – from necessary input data collection, until the development of the final maps presenting floodplain zones and flood wave head propagation times.

Keywords: disaster, extreme phenomena

Wstęp

Zmniejszenie skutków powodzi, w tym zwłaszcza ograniczenie strat powodziowych, należy do głównych zadań regionalnych zarządów gospodarki wodnej. Działalność ta jest jednym z celów Ramowej Dyrektywy Wodnej i znajduje pełne rozwinięcie w Dyrektywie 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 listopada 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, zwaną dalej „dyrektywą powodziową”. Wdrożenie dyrektywy powodziowej przez kraje członkowskie składa się z trzech etapów: pierwszy obejmuje wstępną ocenę ryzyka powodziowego, drugi przygotowanie map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego, a trzeci opracowanie planów zarządzania ryzykiem powodziowym. Zmiana ustawy Prawo Wodne z dnia 5 stycznia 2011 roku wprowadziła m.in. zapisy dotyczące dyrektywy powodziowej, a także państwowej służby do spraw bezpieczeństwa budowli piętrzących, która wykonuje zadania państwa w zakresie nadzoru nad technicznym stanem bezpieczeństwa budowli piętrzących. W myśl Art. 88d ust. 2 pkt. 3c tejże ustawy na mapach zagrożenia powodziowego przedstawia się w szczególności obszary obejmujące tereny narażone na zalanie w przypadku zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących. W realizację powyższego zapisu wkomponowuje się zrealizowany w latach 2009-2011 przez RZGW w Krakowie i OTKZ IMGW w Warszawie projekt „Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących”.

1. Zakres i cel projektu

Dzięki wsparciu udzielonemu przez Norwęgii poprzez dofinansowanie ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie podjął w 2009 roku w partnerstwie z OTKZ IMGW w Warszawie realizację projektu, którego celem było wyznaczenie stref zalewowych w dolinach rzeki Czarnej Staszowskiej oraz Wisłoka, powstałych na skutek hipotetycznych katastrof zapór zbiorników wodnych w Chańczy i Besku. Zakres projektu obejmował działania polegające na:

- opracowaniu scenariuszy katastrof obu zapór,
- obliczeniu prędkości przemieszczania się fal powodziowych,
- określeniu czasu dochodzenia czoła fali do poszczególnych miejsc w dolinach rzek,
- określeniu głębokości wody w strefach zalewowych,
- zidentyfikowaniu i analizie przestrzennej zagrożonych obiektów i infrastruktury.

Głównym celem projektu, oprócz opracowania kompletu map prezentujących potencjalne zagrożenia powodziowe wywołane katastrofami zapór w Besku i Chańczy, było wypracowanie metodyki, która pozwoliłaby w powtarzalny sposób tworzyć scenariusze katastrof dla podobnych dużych zapór wodnych (tj. o wysokości większej niż 15 m) i prowadzić w oparciu o nie wariantowe symulacje transformacji powstałych wskutek katastrofy fal powodziowych. Na terenie Polski znajduje się ponad 40 zapór spełniających powyższe kryterium wysokościowe, z czego na obszar administrowany przez RZGW w Krakowie przypada ich aż 14.

Zakres metodyki opierał się w całości na doświadczeniach zebranych w czasie realizacji projektu i miał podparcie merytoryczne w dostępnej literaturze krajowej i zagranicznej w tym zakresie. Opracowaną metodykę można podzielić na sześć głównych rozdziałów, dotyczących odpowiednio następujących elementów:

- określenia zakresu danych wejściowych koniecznych do wykonania opracowania,
- zdefiniowania scenariuszy powodziowych,
- opracowania modeli hydrodynamicznych,
- wyznaczenia stref zalewowych,
- przeprowadzenia oceny zagrożenia dla terenów położonych poniżej zapory,
- wskazówek dotyczących wyboru oprogramowania.

Opracowania w zakresie szacowania zagrożeń powodziowych będących rezultatem katastrof zapór wodnych, jakie pojawiały się do tej pory w Polsce, bazowały na ogół na tradycyjnych technikach obliczeniowych oraz uproszczonym opisie przebiegu katastrofy i transformacji fali powodziowej w dolinie poniżej. Większość z tych opracowań, datujących się głównie na lata 70-te, 80-te i 90-te ubiegłego wieku, opiera się zazwyczaj na nieaktualnych już materiałach kartograficznych, nie uwzględniających istotnych zmian w charakterystyce geomorfologicznej dolin rzecznych poniżej zapór, jakie miały miejsce na przestrzeni ostatnich lat. Dostępne dzisiaj powszechnie narzędzia hydroinformatyczne (w tym jedno- i dwuwymiarowe modele hydrodynamiczne), nowoczesne materiały geodezyjne i kartograficzne (numeryczny model terenu, ortofotomapy) oraz komputerowe systemy informacji przestrzennej (GIS), pozwalają na prowadzenie kompleksowych analiz takich zagrożeń w sposób zapewniający wysoką wiarygodność uzyskanych wyników, dając równocześnie w zasadzie nieograniczone możliwości w zakresie mnożenia wariantów obliczeń. Dzięki temu, możliwe jest wykonywanie analiz dla całego zbioru scenariuszy katastrof, uwzględniających zarówno różnorodne warunki początkowe, czynniki warunkujące mechanizm rozwoju samej katastrofy, jak również specyfikę ukształtowania i zagospodarowania terenów położonych w dolinie poniżej zbiornika. W efekcie finalnym, w oparciu o analizę uzyskanych wyników wielowariantowych obliczeń, określić można najbardziej charakterystyczne i prawdopodobne zasięgi stref zalewowych w dolinie w przypadku katastrofy zapory, a także odpowiadające im maksymalne przepływy oraz głębokości i prędkości wody w poszczególnych przekrojach obliczeniowych. Wyniki takich obliczeń, a zwłaszcza maksymalne zasięgi stref zalewowych oraz czasy dojścia czoła fali powodziowej do charakterystycznych punktów w dolinie, stanowią materiał informacyjny dla jednostek zarządzania kryzysowego, pozwalający na podejmowanie decyzji co do zakresu i sposobu prowadzenia akcji ewakuacyjnej w przypadku pojawienia się zagrożenia wywołanego katastrofą zapory.

2. Analiza zagrożeń powodziowych – założenia

Głównym celem analiz zagrożenia powodziowego powstałego w wyniku katastrof budowli piętrzących jest określenie maksymalnych zasięgów stref zalewowych dla wybranych, najbardziej reprezentatywnych scenariuszy rozwoju wydarzeń. Takie podejście kładzie największy nacisk na właściwe odwzorowanie warunków przepływu wody w dolinie poniżej zapory, a także dobór odpowiednich założeń co do warunków początkowych panujących w zlewni i zbiorniku przed katastrofą, stawiając na drugim planie dokładność odwzorowania i opisu samego przebiegu zjawiska katastrofy obiektu. W przypadku opisu katastrofy zapory betonowej przyjmuje się uogólnienia związane przede wszystkim z opisem kształtu uszkodzonej części przekroju zapory i jego zmiennością w czasie. Założenia uogólniające dla zapór ziemnych dotyczą przebiegu samego procesu erozji wewnętrznej oraz powstawania wyrwy i polegają na generalizacji parametrów geotechnicznych gruntu oraz założeń co do kierunków i tempa rozwoju, a także maksymalnego rozmiaru i ostatecznego kształtu wyrwy.

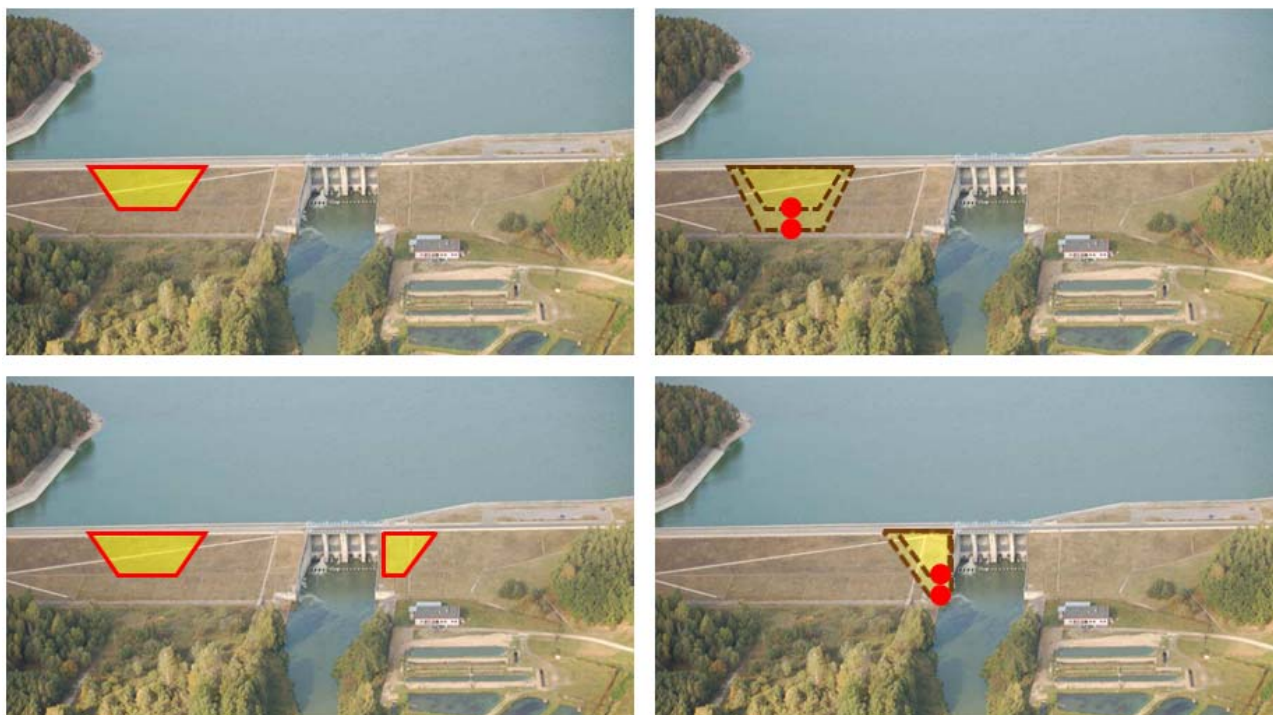


Fig. 1. Przykładowe lokalizacje miejsc powstania uszkodzeń korpusu zapory ziemnej w przypadku przelania wody przez koronę lub przebicia hydraulicznego.

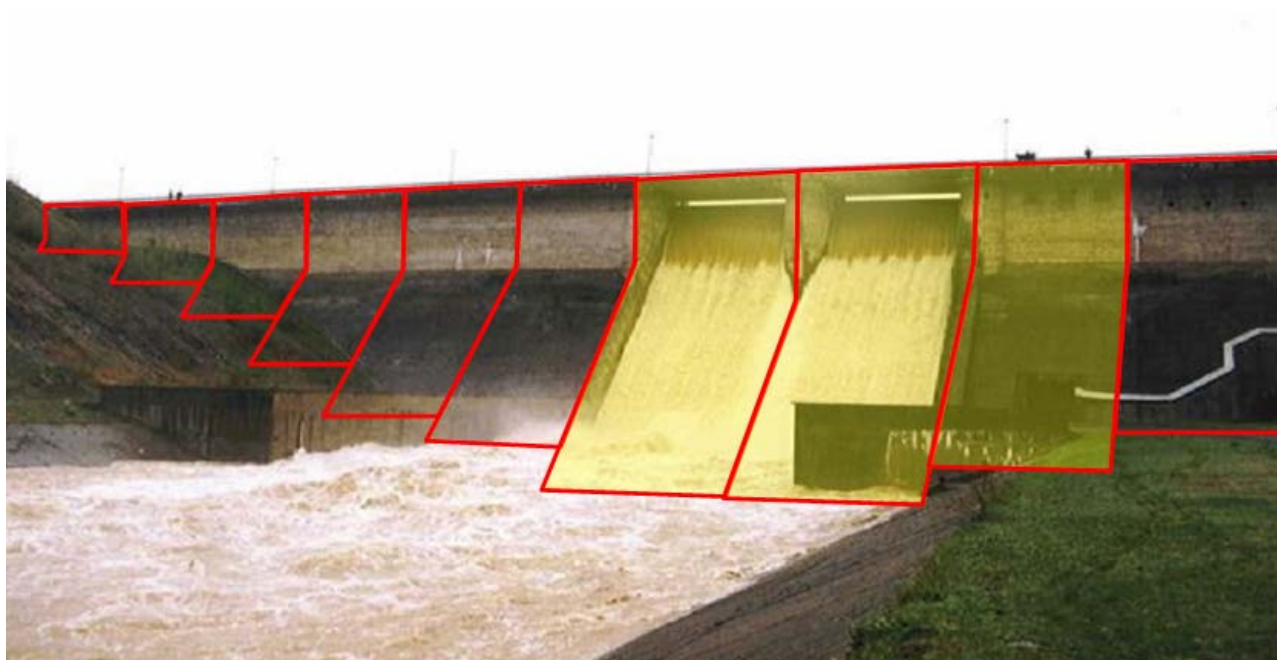


Fig. 2. Przykładowe lokalizacje uszkodzonych sekcji korpusu zapory betonowej w wyniku utraty stateczności podłoża.

Zjawiska te są od lat przedmiotem licznych badań modelowych oraz tematem wielu artykułów i publikacji. Stworzenie dokładnego matematycznego ich opisu jest jednak zadaniem niezwykle trudnym – z uwagi na konieczność właściwego opisanego porowatej struktury gruntu, wypełnienia porów wodą oraz wyboru właściwej ścieżki, która zapoczątkuje zjawisko filtracji. Pomimo wieloletnich prób, nadal poszukuje się prawidłowego matematycznego sposobu opisu tych zjawisk. Z tego też względu ich uwzględnienie w tego typu opracowaniach z założenia musi bazować na określonych uogólnieniach, nie mających jednak pierwszoplanowego wpływu na końcowe jego rezultaty.

3. Scenariusze katastrofy zapory

Jednym z kluczowych elementów pozwalających na właściwe określenie teoretycznych zagrożeń powodziowych powstałych wskutek katastrofy budowli piętrzącej są scenariusze katastrofy. Definiują one warunki początkowe oraz schemat przebiegu samego zjawiska polegającego na katastrofie obiektu. Z uwagi na rodzaje konstrukcji zapór wodnych, z jakimi mamy do czynienia na obszarze Polski, scenariusze podzielić należy na dwie zasadnicze grupy: scenariusze dla zapór betonowych oraz scenariusze dla zapór ziemnych.

Określenie warunków początkowych sprowadza się do podania miejsca, w którym rozpoczyna się uszkodzenie zapory, a także określenia przyjętego procesu (przelanie, przebicie, utrata stateczności) doprowadzającego do katastrofy zapory. Konsekwencją katastrofy jest niekontrolowane opróżnianie zbiornika. Wpływ ze zbiornika odbywa się przez powstałą w zaporze wyrwę. Do prognozy tworzenia się wyrwy stosowanych jest wiele modeli. W praktyce sprowadza się to do wyboru jednego z kilku modeli zaimplementowanego w stosowanym oprogramowaniu. Modele wyrwy wymagają podania parametrów, którymi są: wymiary zapory i zbiornika oraz początkowego kształtu wyrwy. Dla zapór ziemnych niezbędne są także fizyczne cechy gruntu w korpusie zapory. Opracowanie prawdopodobnych scenariuszy katastrof wymaga zatem pozyskania danych dotyczących konstrukcji oraz parametrów technicznych zapór i zbiorników.

Podstawowymi czynnikami warunkującymi scenariusz katastrofy zapory (zarówno ziemnej jak i betonowej) są:

- warunki hydrologiczne (warunki powodziowe, warunki normalne),
- stan początkowy zbiornika (napelnienie),
- lokalizacja i parametry uszkodzenia (wyrwy).

Do dodatkowych parametrów należeć mogą np.:

- reguły sterowania zbiornikiem (różne warianty sterowania),
- synchronizacja czasu kulminacji dopływu do zbiornika z momentem katastrofy obiektu,
- kształt przekroju ograniczającego maksymalny rozmiar wyrwy,
- inne parametry, uwzględniające którykolwiek z czynników mających wpływ na przebieg katastrofy.

4. Budowa modelu hydrodynamicznego

Rzetelna analiza przebiegu zjawiska katastrofy zapory oraz transformacji fali wywołanej tym zjawiskiem w dolinie poniżej powinna opierać się na badaniach modelowych. Obecnie, ogólnodostępne narzędzia hydroinformatyczne umożliwiają w relatywnie prosty sposób przeprowadzenie modelowania dla całego złożonego procesu związanego z przejściem fali powodziowej przez zbiornik, zniszczeniem zapory oraz transformacją fali w dolinie poniżej. Modelowanie to stanowi podstawę do wyznaczenia zasięgów stref zalewowych w dolinie poniżej obiektu i analizy skutków całego zjawiska. W związku z powyższym powinno się opracować zarówno model katastrofy zapory jak i model propagacji fali wywołanej tym zjawiskiem w dolinie poniżej. Odpowiedni dobór narzędzia dla właściwego określenia przebiegu zjawiska katastrofy zapory oraz transformacji fali wywołanej tym zjawiskiem w dolinie poniżej jest jednym z kluczowych elementów warunkujących uzyskanie poprawnych i wiarygodnych wyników obliczeń. Biorąc pod uwagę doświadczenia zebrane w czasie realizacji niniejszego projektu, a także mając na uwadze integralność modelu, zapewniającą możliwość wykonywania wielowariantowych analiz i łatwość interpretacji wyników, najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie narzędzia hydroinformatycznego, umożliwiającego równoczesną implementację zjawiska katastrofy zapory bezpośrednio w modelu hydrodynamicznym propagacji fali powodziowej wywołanej katastrofą zapory.

Opracowanie modelu hydrodynamicznego umożliwiającego symulację katastrofy budowli piętrzącej oraz propagację powstałej w wyniku katastrofy fali powodziowej w dolinie poniżej, wymaga przygotowania szeregu danych wejściowych do modelu. Zarówno jakość opracowanego modelu jak i efekt końcowy obliczeń, którym są mapy zalanych obszarów uzależnione są od dokładności oraz aktualności danych wejściowych. Także jakość analiz przestrzennych, przeprowadzanych na obszarach zalanych, zależy w istotny sposób od danych wejściowych. Do głównych danych wejściowych zaliczyć należy: produkty kartograficzne, dane hydrologiczne, dane z inwentaryzacji dolin powyżej i poniżej budowli piętrzących oraz dane o budowlach piętrzących ulegających katastrofie i ich zbiornikach, a także dane o budowlach inżynierskich zlokalizowanych w dolinie poniżej zapory.

5. Opracowanie map zagrożenia powodziowego

Efektem końcowym obliczeń symulacyjnych katastrofy budowli piętrzącej jest opracowanie map, na których dla wybranych scenariuszy wyznaczone są zasięgi stref zalewowych. Z punktu widzenia władz samorządowych, opracowujących plany zagospodarowania przestrzennego oraz wydających decyzje o warunkach zabudowy i zagospodarowaniu terenu, istotne jest wyznaczenie maksymalnego obszaru, który może zostać zalany wodą w wyniku katastrofy budowli piętrzącej wraz z wyznaczeniem rozkładu głębokości na tym obszarze.

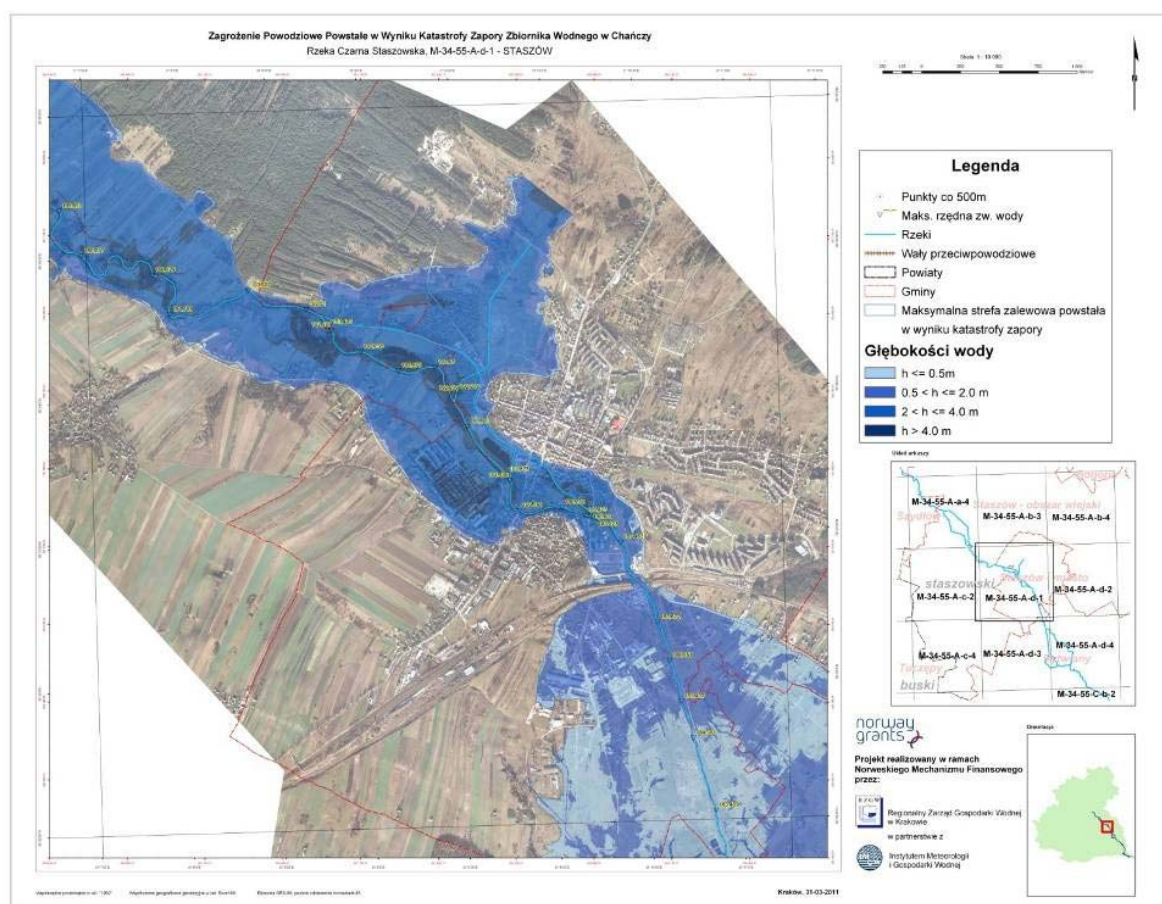


Fig. 3. Przykładowy arkusz mapy w skali 1:10 000 z zasięgiem maksymalnej strefy zalewowej dla jednego ze scenariuszy katastrofy.

Dla służb kryzysowych zajmujących się przygotowaniem planów ewakuacyjnych natomiast, równie ważną informacją jest czas przemieszczania się czoła fali powodziowej w odniesieniu do strategicznych punktów doliny, a także rozkład prędkości, z którego można wyciągać wnioski co do

kierunków przepływu wody i potencjalnej skali możliwych zniszczeń w infrastrukturze drogowej oraz zabudowie.

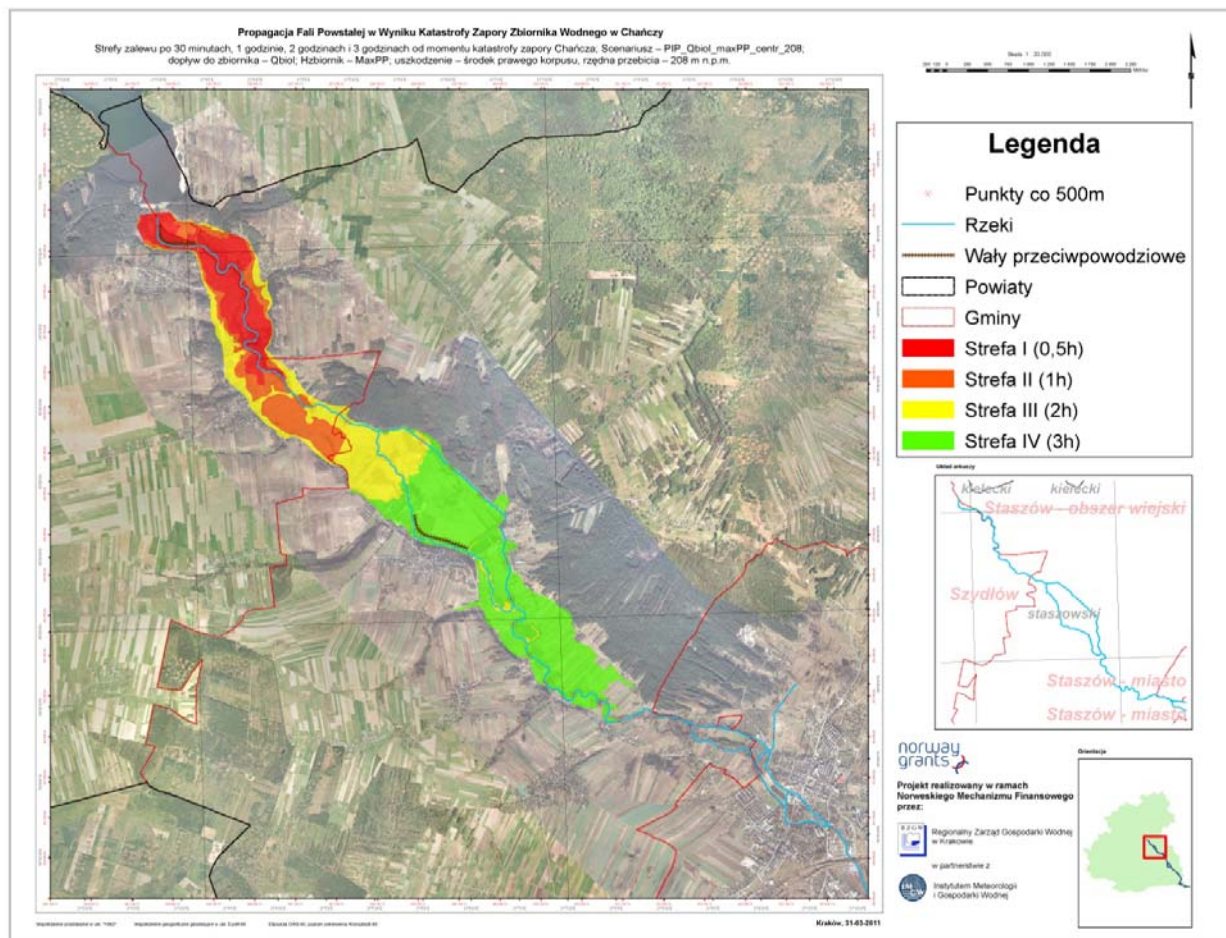


Fig. 4. Mapa propagacji fali powodziowej w dolinie poniżej zapory.

Strefy zalewowe wyznaczone w oparciu o wybrane scenariusze katastrofy zapory pozwalają na ocenę zagrożenia dla terenów położonych w dolinie poniżej obiektu, który ulega katastrofie. Ocenę tą przeprowadza się poprzez ilościowe i przestrzenne określenie zagrożeń dla różnego typu infrastruktury znajdującej się w dolinie rzecznej poniżej przekroju zaporowego, dla założonych wcześniej scenariuszy katastrofy.

Podsumowanie

Doświadczenia zebrane podczas realizacji projektu dotyczącego określenia zagrożeń powodziowych powstałych w wyniku katastrof zapór w Besku i Chańczy pozwoliły na sformułowanie wskazówek i propozycji w zakresie sporządzania tego typu opracowań dla podobnych obiektów w Polsce. Dostępność nowych technologii informatycznych, w tym jedno- i dwuwymiarowych modeli hydrodynamicznych, numerycznych modeli terenu, czy narzędzi GIS stwarza obecnie ogromne możliwości w zakresie analiz zagrożeń powodziowych, podnosząc jednocześnie standard dotychczasowych opracowań w tym zakresie. Z punktu widzenia celów jakim mają służyć takie opracowania istotne jest zidentyfikowanie najważniejszych ich elementów i wskazanie najlepszych środków technicznych i metodycznych do ich osiągnięcia. Wypracowana w ramach realizacji niniejszego projektu metodyka analiz zagrożeń powodziowych powstałych w wyniku katastrof budowli piętrzących jest próbą określenia tych elementów.

BIBLIOGRAFIA

1. DHI, Mike 11, MikeNAM, MikeGIS User Guide and Scientific Documentation, Hørsholm, Denmark, 2009.
2. DHI, Mike 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation, Hørsholm, Denmark, 2009.
3. DHI, Mike Flood, 1D-2D Modelling, User Manual, Hørsholm, Denmark, 2009.
4. J. Jorgeson, X. Ying, W. Wardlaw, Two-Dimensional Modeling Of Dam Breach Flooding, US-China Workshop On Advanced Computational Modelling In Hydrosience & Engineering, USA.
5. Mirosław-Świątek D., Radoń R. Raport z wykonania poddziałania nr 4.3 Wykonanie opracowania końcowego - Projekt PL0456 Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących, Warszawa, Kraków 2011.
6. Radoń R. Zielińska M., Piórecki M., Metodyka analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami zapór - Projekt PL0456 Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących, Kraków 2011.
7. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, USGS, Water-supply Paper 2339.
8. A. Borowicz, J. Kwiatkowski, J. Spatka, E. Zeman, Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego dla potrzeb wdrażania Dyrektywy 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, DHI Polska, Warszawa 2009.