

ZAGROŻENIA POWODZIOWE W DORZECZU GÓRNEJ WISŁY – W KONTEKŚCIE ANALIZ POTENCJALNYCH SKUTKÓW KATASTROF ZAPÓR ZBIORNIKÓW WODNYCH

PIÓRECKI M.¹
RADON R.¹

¹Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie, ul. Piłsudskiego 22, 31-109 Kraków
mpiorecki@krakow.rzgw.gov.pl, rradon@krakow.rzgw.gov.pl

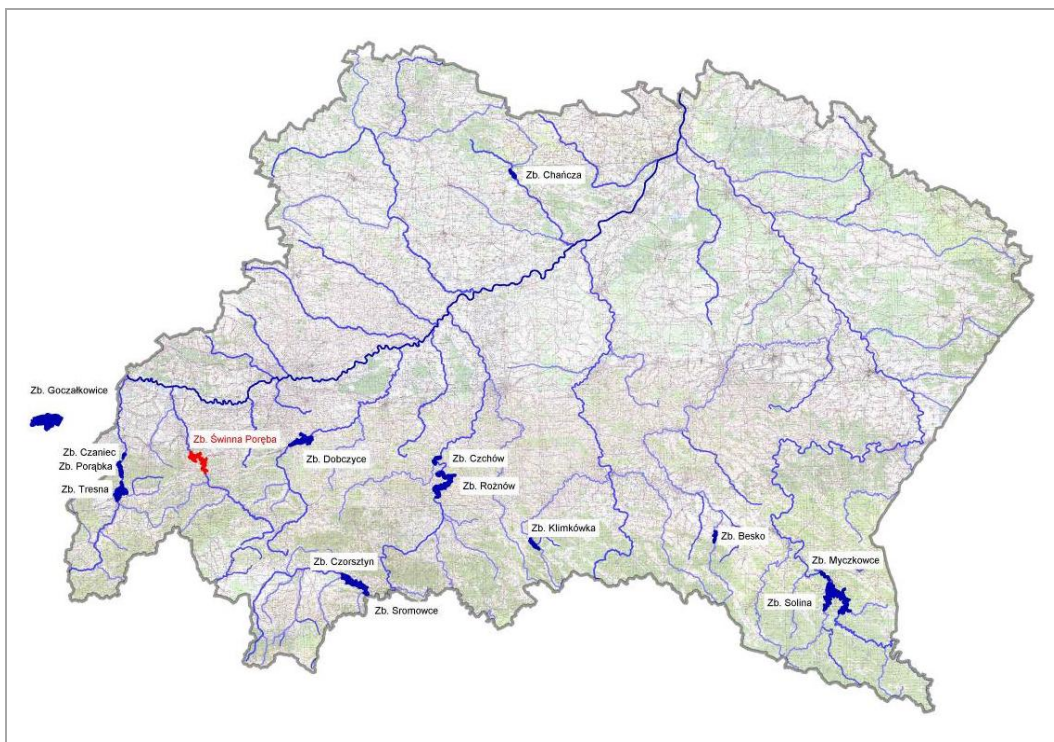
Streszczenie :

Artykuł prezentuje tematykę związaną z zagrożeniami powodziowymi generowanymi w wyniku katastrof budowli piętrzących, jakimi są zapory dużych zbiorników wodnych. 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 Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie (RZGW) w 2009 r. podjął się realizacji w partnerstwie z Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie (IMGW) projektu pilotażowego, którego celem było wyznaczenie stref zalewowych dla scenariuszy katastrofy zapory ziemnej zbiornika w Chańczy i zapory betonowej zbiornika w Besku. W ramach projektu, współfinansowanego z funduszy Norweskiego Mechanizmu Finansowego oraz środków budżetowych opracowano łącznie 97 scenariusze katastrof dla obu obiektów. Scenariusze te poddano procesowi modelowania hydraulicznego w narzędziu Mike 11 I Mike Flood, a na bazie ich wyników opracowano zasięgi stref zalewowych w dolinie. W obszarach wyznaczonych stref zalewowych przeprowadzono inwentaryzację zabudowy i infrastruktury zagrożonej w przypadku katastrofy obu zapór. Jednym z głównych celów projektu było również opracowanie przewodnika metodycznego dla opracowywania w przyszłości podobnych analiz dla pozostałych obiektów piętrzących na terenie Polski południowej. Jednym z założeń Projektu było również przeprowadzenie jego wdrożenia w postaci wykonania analogicznego opracowania dla jednego z obiektów piętrzących znajdującego się na obszarze administrowanym przez RZGW w Krakowie – w okresie 2 lat od jego zakończenia. Realizacja wdrożenia Projektu została zakończona we wrześniu br. dla zbiornika wodnego Świnna Poręba na rzece Skawie, znajdującego się obecnie w końcowym stadium budowy. Artykuł opisuje poszczególne etapy prac realizowanych w ramach Projektu wykonanego w latach 2009-2011, jak również jego późniejszego wdrożenia, z roku 2012.

Słowa kluczowe : *zapora, katastrofa, powódź, zjawisko ekstremalne*

Wstęp

Obszar administrowany przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie obejmuje dorzecze górnej Wisły, na jej odcinku od ujścia Przemszy do ujścia Sanny. Zajmuje on łączną powierzchnię około 43 tys. km² i pokrywa teren województw: małopolskiego, podkarpackiego, oraz częściowo świętokrzyskiego, śląskiego i lubelskiego. Na obszarze administrowanym przez RZGW w Krakowie znajduje się łącznie 9 dużych zbiorników wodnych (lub zespołów zbiorników) o znaczeniu przeciwpowodziowym, z czego 5 jest bezpośrednio administrowanym przez RZGW, a pozostałe 4 zbiorniki znajdują się w administracji spółek energetycznych.



Rys. 1. Dorzecze górnej Wisły w granicach obszaru działania RZGW w Krakowie.

Jednym z głównych zadań regionalnych zarządów gospodarki wodnej jest zmniejszenie skutków powodzi, a zwłaszcza ograniczenie strat powodziowych. Działalność ta jest również jednym z głównych 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”. W myśl Art. 88 d ust. 2 pkt. 3c ustawy Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. (z późn. zm.) na mapach zagrożenia powodziowego, będących jednym z podstawowych produktów wdrożenia dyrektywy powodziowej, przedstawia się, oprócz obszarów zagrożonych naturalnymi wylewaniami wód powodziowych, również obszary obejmujące tereny narażone na zalanie w przypadku zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących.

Projekt „Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących”, zrealizowany przez RZGW w Krakowie w latach 2009-2011 i dotyczący zapór Chańcza i Besko oraz opracowanie zrealizowane w roku 2012, dotyczące zapory Świnna Poręba, wpisują się w pełni powyższe zapisy, stanowiąc równocześnie kompletny materiał informacyjny, mogący stanowić podstawę do planowania i projektowania systemów ostrzegawczych o zagrożeniach powodziowych wynikających z katastrof obiektów gospodarki wodnej, czy też podejmowania w sytuacji krytycznych decyzji odnośnie zakresu i przebiegu działań ewakuacyjnych prowadzonych przez służby kryzysowe.

1. Standard opracowań

Opracowania w zakresie szacowania zagrożeń powodziowych będących rezultatem katastrof zapór wodnych, jakie pojawiały się do tej pory w Polsce, bazowały na ogół na uproszczonym opisie przebiegu katastrofy i transformacji fali powodziowej w dolinie poniżej. Większość z tych opracowań, datujących się głównie na drugą połowę ubiegłego wieku, opiera się zazwyczaj na nieaktualnych już materiałach kartograficznych, nieuwzględniających istotnych zmian w charakterystyce geomorfologicznej dolin rzecznych, jakie miały miejsce na przestrzeni ostatnich lat. Dostępne dzisiaj zaawansowane narzędzia hydroinformatyczne, nowoczesne techniki geodezyjne i kartograficzne, numeryczny model terenu, ortofotomapy, a także systemy informacji

przestrzennej (GIS), pozwalają na realizację kompleksowych analiz takich zagrożeń w sposób zapewniający wysoką wiarygodność uzyskanych wyników, dając równocześnie prawie nieograniczone możliwości w zakresie mnożenia wariantów obliczeń. Dzięki temu, możliwe jest wykonywanie analiz dla całego wachlarza scenariuszy katastrof, uwzględniających zarówno różne warunki początkowe, czynniki odpowiadające za mechanizm rozwoju samej katastrofy, jak również specyfikę zagospodarowania terenów położonych w dolinie poniżej zbiornika.

W oparciu o analizę wyników takich wielowariantowych obliczeń, określić można najbardziej charakterystyczne i prawdopodobne zasięgi stref zalewowych w dolinie w przypadku katastrofy zapory, a także odpowiadające im maksymalne stany wody, przepływy, głębokości i prędkości wody w poszczególnych przekrojach obliczeniowych. Wyniki takich symulacji, a zwłaszcza maksymalne zasięgi stref zalewowych oraz czasy propagacji fali powodziowej w dolinie, stanowią materiał informacyjny dla jednostek zarządzania kryzysowego, pozwalający na podejmowanie decyzji co do zakresu i sposobu prowadzenia akcji ewakuacyjnych w przypadku ewentualnego pojawienia się tego rodzaju zagrożeń.

2. Elementy analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami budowli piętrzących

Przeprowadzenie kompleksowej analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami budowli piętrzących, wymaga przeprowadzenia szeregu następujących po sobie działań, począwszy od pozyskania danych wejściowych do budowy modeli hydraulicznych, a skończywszy na opracowaniu zasięgów stref zalewowych w dolinie poniżej zapory, powstałych w skutek jej katastrofy.

Najbardziej istotnymi elementami takiej analizy są:

- Opracowanie modelu hydraulicznego dla doliny poniżej zapory
- Opracowanie modelu hydraulicznego dla zapory i zbiornika wodnego
- Opracowanie scenariuszy katastrofy
- Przeprowadzenie obliczeń modelowych
- Opracowanie zasięgów stref zalewowych oraz mapy propagacji fali powodziowej w dolinie

3. Opracowanie modeli hydraulicznych dla dolin poniżej zapór

Model hydrauliczny dla doliny poniżej zapory umożliwia przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych przemieszczania się fali powodziowej wywołanej katastrofą w dolinie rzeki i wyznaczenie na podstawie wyników modelowania zasięgów strefy zalewowej.

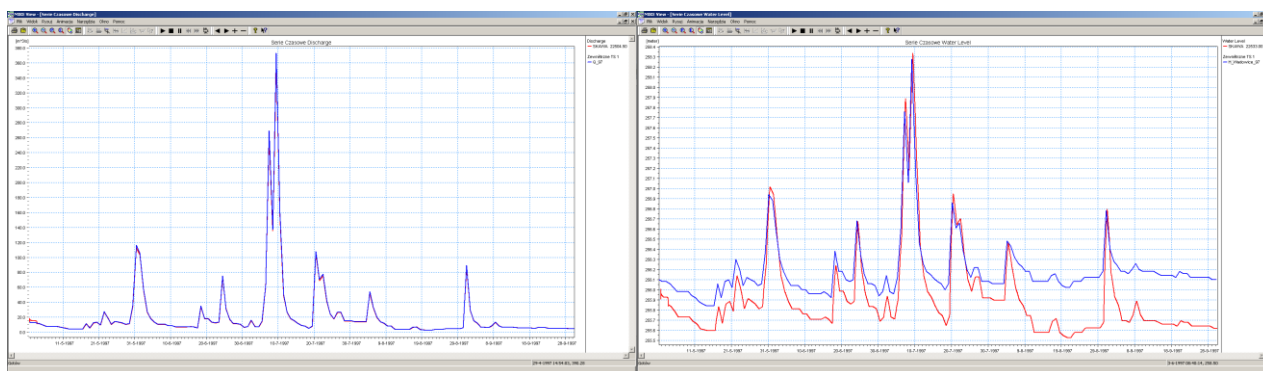
Opracowanie jednowymiarowego (1D) modelu dolinowego w przypadku wszystkich trzech dotychczasowych projektów składało się z następujących elementów:

- Implementacji sieci rzecznej (odcinka rzeki poniżej zapory)
- Wprowadzenia przekrojów poprzecznych
- Identyfikacji paramentów hydraulicznych
- Wprowadzenia budowli inżynierskich
- Ustalenia warunków początkowych

Przebieg linii wyznaczającej osie głównych rzek w dolinach poniżej zapór w Chańcy, Besku i Świnnej Porębie określono w oparciu o numeryczny model terenu (NMT) oraz skorygowano na podstawie ortofotomap. Przekroje poprzeczne koryta rzeki Czarnej Staszowskiej (poniżej zapory w Chańcy), Wisłoka (poniżej zapory w Besku) oraz Skawy (poniżej zapory w Świnnej Porębie) odwzorowano w oparciu o bezpośrednie pomiary terenowe, a następnie poszerzono w oparciu o NMT do przekrojów dolinowych, obejmujących cały obszar przepływu wód powodziowych wywołanych katastrofą zapory.

Dla każdego z przekrojów dokonano identyfikacji współczynników oporów przepływu wody (wsp. szorstkości „n” Manninga) – odrębnie dla koryta głównego oraz prawej i lewej terasy zalewowej. W modelach hydraulicznych dolin poniżej zapór uwzględniono obiekty inżynierskie, takie jak mosty oraz jazy i stopnie wodne, mające bezpośredni wpływ na kształtowanie się rzędnych wód powodziowych. Aby zapewnić początkową stabilność modelu w pierwszych krokach obliczeniowych, zdefiniowano warunki początkowe obliczeń, w postaci stanów wody i przepływów w poszczególnych przekrojach.

Modele hydrauliczne dla dolin rzek: Czarnej, Wisłoka oraz Skawy poddano procesowi kalibracji i weryfikacji na falach historycznych, co gwarantowało właściwe odwzorowanie zasięgów powodzi we właściwych obliczeniach.



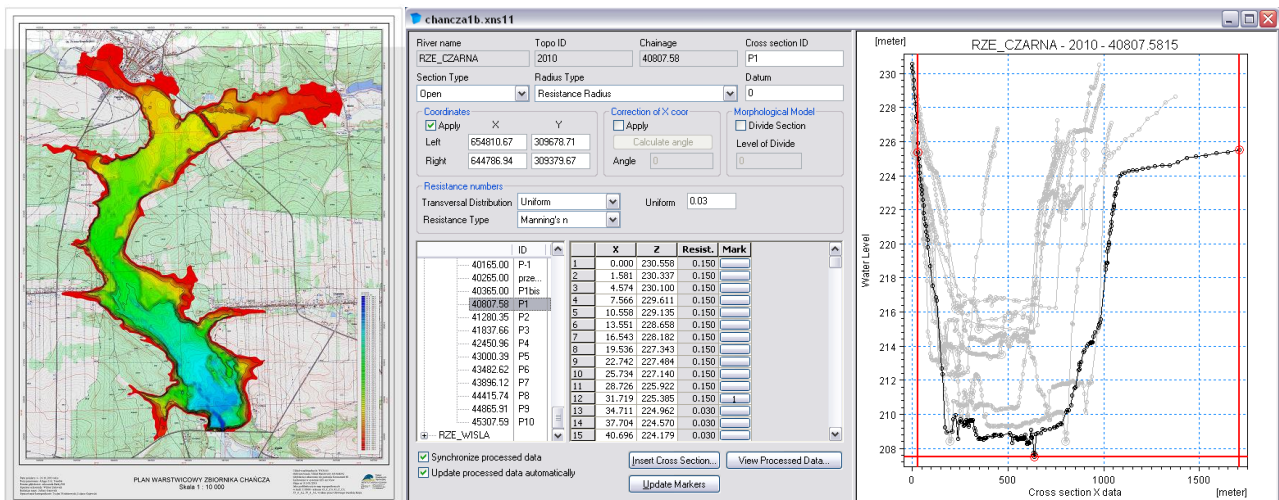
Rys. 2. Wyniki kalibracji modelu dla rzeki Skawy w profilu wodowskazowym Wadowice (hydrogram przepływów – po lewej stronie, hydrogram stanów wody – po prawej stronie).

Niezależnie od opracowania modeli jednowymiarowych dla dolin rzek poniżej zapór, w przypadku zapory zbiornika wodnego Chańcza opracowano model dwuwymiarowy (2D). Model 2D pozwolił na dokładniejszą prezentację wyników obliczeń, zwłaszcza w zakresie odwzorowania dynamiki przepływu fali powodziowej wywołanej katastrofą w dolinie (rozkład przestrzenny głębokości i prędkości wody).

4. Opracowanie modelu hydraulicznego dla zapory i zbiornika wodnego

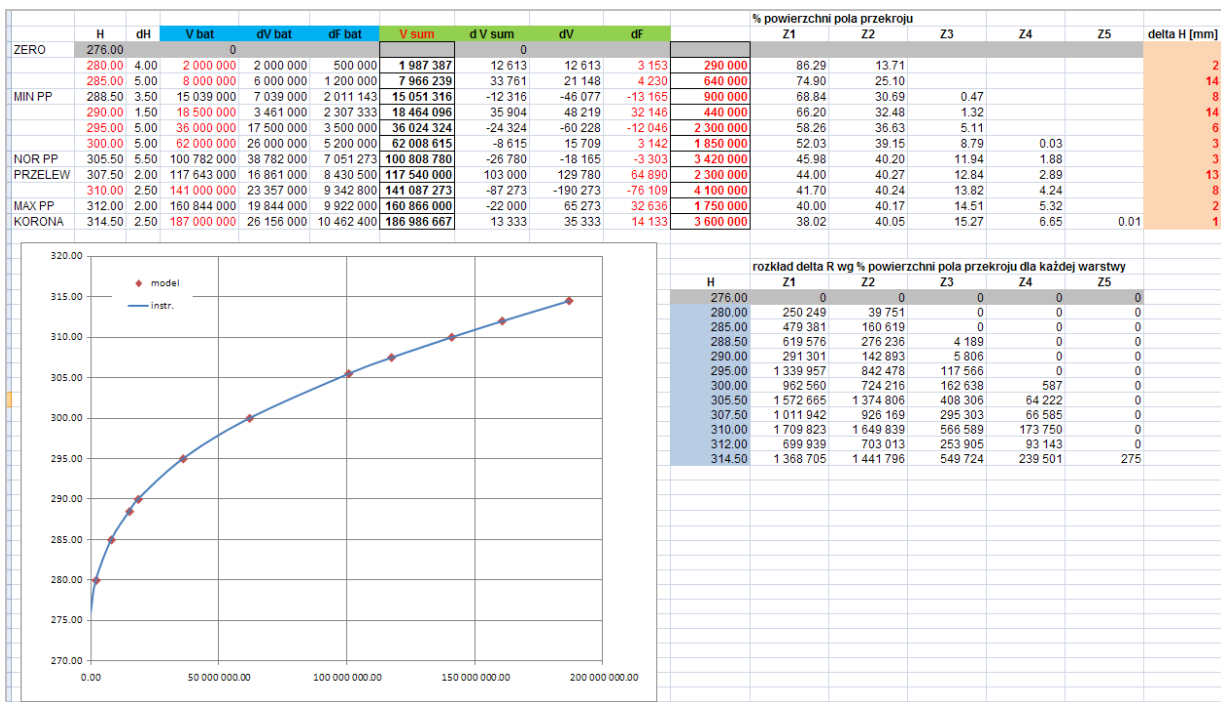
Właściwe odwzorowanie procesu katastrofy zapory zbiornika wodnego wymaga budowy modelu hydraulicznego, uwzględniającego takie elementy jak: rzeczywista pojemność zbiornika przy charakterystycznych poziomach piętrzenia, reguły sterowania urządzeniami upustowymi w warunkach normalnych i powodziowych, budowa korpusu zapory, rozmieszczenie bloku przelewowego oraz spustów dennych.

W przypadku zapory w Chańczy i Besku, oddanych do eksploatacji odpowiednio w roku 1984 i 1978, do odwzorowania kształtu czaszy zbiorników wykorzystano wyniki pomiarów batymetrycznych, wykonanych w ostatnich latach. Geometrię zbiornika w Chańczy odwzorowano w oparciu o 10 przekrojów, a w przypadku zbiornika Besko – o 50 przekrojów. Przy opracowywaniu modelu zbiornika Świnna Poręba, znajdującego się obecnie w końcowym stadium budowy, wykorzystano natomiast informacje o pojemności zbiornika pochodzące z opracowywanej aktualnie instrukcji gospodarki wodnej.



Rys. 3. Wyniki pomiarów batymetrycznych dla zbiornika Chańcza oraz przekroje czaszy zbiornika wprowadzone do modelu hydraulicznego.

Jednym z najbardziej istotnych elementów budowy modeli zbiorników Chańcza, Besko oraz Świnna Poręba, była kalibracja ich pojemności. Kalibracja ta polegała na iteracyjnym doborze parametru tzw. „dodatkowej powierzchni retencji” w przekroju zaporowym, tak aby uzyskać możliwie jak największą zgodność odwzorowywania rzeczywistych napełnień napełnień zbiornika przez model hydrauliczny. W każdym z przypadków kalibrację prowadzono na kilkunastu charakterystycznych poziomach piętrzenia wody w czaszy zbiornika, uzyskując na ogół rozbieżności w rzędnych zwierciadła wody rzędu kilku mm (maksymalnie kilku cm).



Rys. 4. Arkusz kalibracyjny pojemności zbiornika Świnna Poręba na rzece Skawie.

Kolejnym istotnym etapem budowy modeli zbiornikowych była implementacja reguł sterownia odpływem przez urządzenia zrzutowe (przelewy powierzchniowe, spusty denne). Właściwe odzwierciedlenie reguł sterownia ma znaczenie zwłaszcza w fazie obliczeń symulacyjnych, poprzedzających katastrofę obiektu, kiedy dochodzi do wypełnienia zbiornika wskutek nadejścia fali powodziowej. Opracowano reguły sterownia tzw. „normalne” oraz „awaryjne”, które uwzględniają sytuację ograniczenia odpływu ze zbiornika w wyniku awarii zamknięć przelewu lub

spustów dennych. Reguły sterowania odpływem zostały zaimplementowane w modelach hydraulicznych w formie logicznych instrukcji dyspozycji odpływu – w zależności od wielkości dopływu i rzędnej wody w zbiorniku.

5. Scenariusze katastrof

Scenariusze katastrof stanowią zbiór warunków brzegowych (początkowych), decydujących o przebiegu zjawiska polegającego na katastrofie obiektu. Z uwagi na rodzaje konstrukcji zapór wodnych, z jakimi mamy na ogół do czynienia, a co za tym idzie odmiennymi przyczynami i przebiegiem zjawiska samej katastrofy, scenariusze podzielić można na dwie główne grupy: scenariusze dla zapór betonowych (w tym kamiennych) oraz scenariusze dla zapór ziemnych (w tym narzutowych).

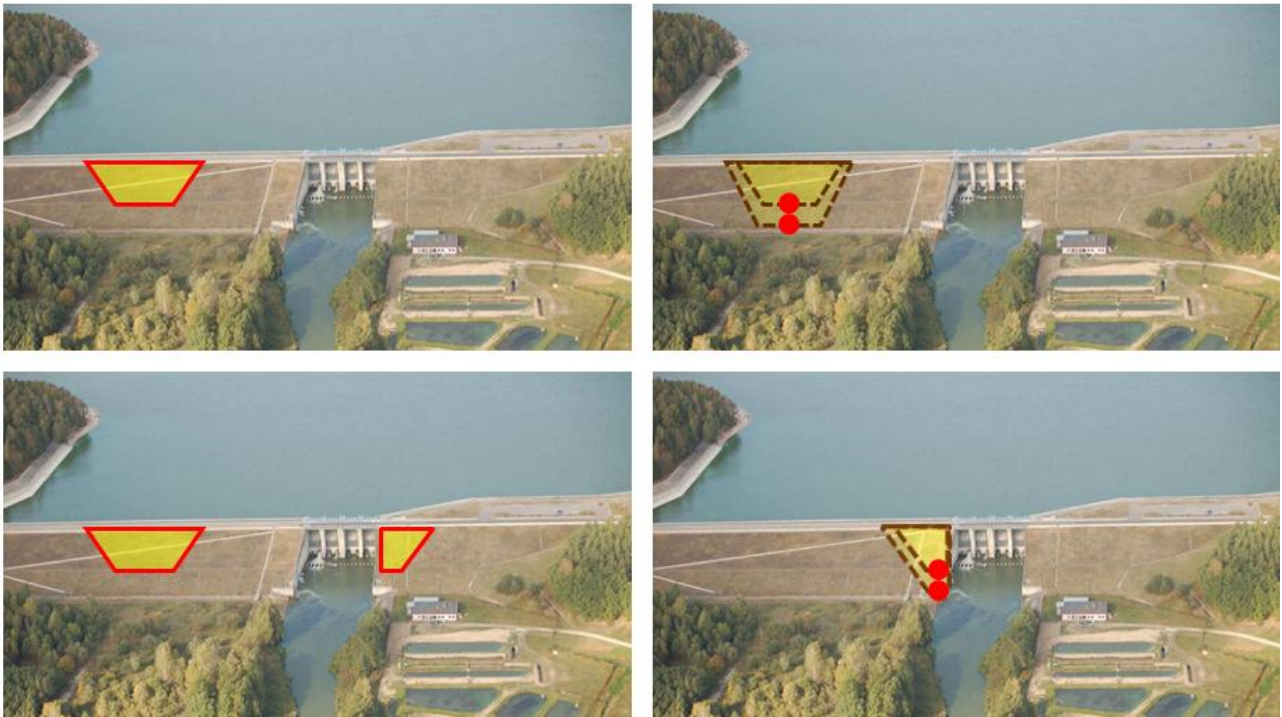
Scenariusze katastrof opracowano mając na uwadze, iż głównymi przyczynami katastrof zapór ziemnych jest przelanie wody przez koronę zapory lub erozja wewnętrzna korpusu (w wyniku przebicia hydraulicznego), zaś w przypadku zapór betonowych – problemy związane z posadowieniem (erozja wewnętrzna podłoża, zbyt niska wytrzymałość gruntu na ścinanie) – prowadzące w efekcie do utraty stateczności konstrukcji betonowej (dane ICOLD).

Podstawowymi czynnikami definiującymi określony scenariusz katastrofy zapory (zarówno w przypadku zapory ziemnej jak i betonowej) są:

- warunki hydrologiczne (warunki powodziowe, warunki normalne)
- stan początkowy zbiornika (napelnienie)
- lokalizacja i parametry uszkodzenia (wyrwy)
- synchronizacja kulminacji dopływu do zbiornika z momentem katastrofy obiektu (dotyczy warunków powodziowych)
- reguły sterowania zbiornikiem (różne warianty sterowania)

W przypadku realizowanych przez RZGW w Krakowie w latach 2009-2012 opracowań dla zapory zbiornika Chańcza, Besko oraz Świnna Poręba, na etapie opracowywania scenariuszy powodziowych przyjęto następujące założenia:

- a) w zakresie warunków hydrologicznych:
 - hydrogram wezbrania o prawdopodobieństwie przewyższenia przepływu maksymalnego $p = 0,1\%$ (woda 1000-letnia)
 - hydrogram wezbrania o prawdopodobieństwie przewyższenia przepływu maksymalnego $p = 0,01\%$ (woda 10000-letnia)
 - przypadek tzw. „słonecznego dnia” (stały, niewielki dopływ do zbiornika)
- b) w zakresie początkowego napełnienia zbiornika:
 - normalny poziom piętrzenia (Nor PP)
 - maksymalny poziom piętrzenia (Max PP)
- c) w zakresie parametrów i lokalizacji uszkodzenia korpusu (wyrwy):
 - dla zapór ziemnych (Chańcza, Świnna Poręba) – w przypadkach przelania wody przez koronę lub przebicia hydraulicznego – rozmycie korpusu w części centralnej zapory lub na stykach z blokiem przelewowo-upustowym
 - dla zapór betonowych (Besko) – uszkodzenie sekcji betonowych zapory wskutek awarii podłoża



Rys. 5. Przykładowe lokalizacje miejsc powstania uszkodzeń korpusu zapory ziemnej w przypadku przelania wody przez koronę lub przebicia hydraulicznego (Chańcza).



Rys. 6. Przykładowe lokalizacje miejsc powstania uszkodzeń korpusu zapory ziemnej w przypadku przelania wody przez koronę lub przebicia hydraulicznego (Świnna Poręba).



Rys. 7. Przykładowe lokalizacje uszkodzonych sekcji korpusu zapory betonowej w wyniku utraty stateczności podłoża (Besko).

- d) w zakresie synchronizacji czasu kulminacji fali powodziowej i czasu katastrofy zapory:
- brak synchronizacji (moment zapoczątkowania katastrofy jest niezależny od przebiegu wezbrania)

- pełną synchronizację (rozpoczęcie zjawiska katastrofy ma miejsce w chwili dotarcia do zbiornika kulminacji fali powodziowej)
- e) w zakresie reguł sterowania odpływem:
- reguły „normalne” (praca wszystkich urządzeń zrzutowych pełnym wydatkiem)
 - reguły „awaryjne” (zrzut wody ze zbiornika ograniczony wskutek awarii zamknięć przelewów lub spustów)

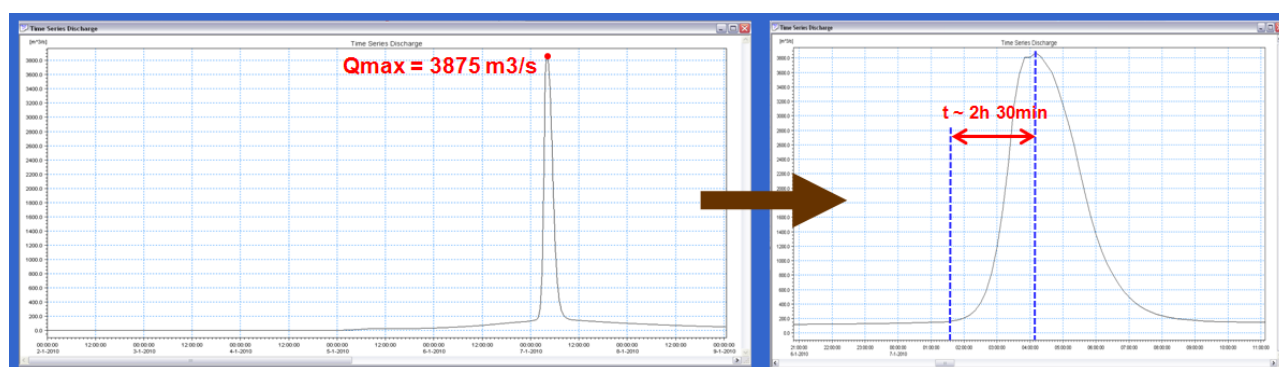
Efektem wielowariantowych założeń w zakresie warunków początkowych, w przypadku wszystkich trzech obiektów była szeroka lista potencjalnych scenariuszy obliczeniowych. Dla symulacji katastrofy zapory ziemnej zbiornika wodnego w Chańczy przygotowano w sumie 72 scenariusze obliczeniowe, dla zapory betonowej zbiornika Besko – 25 scenariuszy, natomiast dla zapory ziemnej zbiornika Świnna Poręba – 20 scenariuszy.

6. Przeprowadzenie obliczeń modelowych

Dla opracowanych scenariuszy katastrof zapór, wykonano obliczenia modelowe, w wyniku których uzyskano hydrogramy odpływu z profili zaporowych, uwzględniających maksymalny wypływ z wyrwy, powstałej w korpusie zapory.

W zależności od przyjętych założeń, dla najbardziej ekstremalnego scenariusza katastrofy zapory ziemnej w Chańczy uzyskano odpływ maksymalny z profilu zapory 3875 m³/s, w przypadku zapory betonowej Besko – 5730 m³/s, zaś w przypadku zapory zbiornika Świnna Poręba (o największej pojemności spośród trzech analizowanych) – aż 25 395 m³/s. W przypadku zapory w Chańczy i Świnnej Porębie (obie zapory ziemne), etap rozmycia korpusu ziemnego do maksymalnych rozmiarów wyrwy trwał w granicach około 2,5 - 3,0 godzin, czas trwania samej katastrofy w przypadku zapory betonowej zbiornika wynosił natomiast 5 minut.

Mechanizm rozwoju zjawiska katastrofy korpusu ziemnego czołowych zapór zbiorników Chańcza i Świnna Poręba został odwzorowany w modelu za pomocą formuły erozyjnej Engelund-Hansena, opartej m.in. na rzeczywistych cechach fizycznych gruntu wbudowanego w nasypy ziemne zapór. Niezbędne parametry geotechniczne gruntu opracowano w oparciu o dostępną dokumentację dla obu obiektów. Maksymalną teoretyczną szerokość wyrwy w dnie wyznaczono powszechnie znanymi formułami empirycznymi Froehlicha, MacDonalds & Langridge-Monopolis oraz Von Thun & Gillette, bazującymi na udokumentowanych, historycznych przypadkach katastrof zapór ziemnych na świecie.



Rys. 8. Przykładowy maksymalny hydrogram przepływu w profilu wyrwy w korpusie zapory zbiornika Chańcza.

Hydrogramy przepływów w profilach zaporowych, przetransformowano następnie w modelach hydraulicznych, opracowanych dla dolin rzecznych poniżej zapór, uzyskując rzędne zwierciadła wody i wartości przepływów dla każdego przekroju w dolinie – dla określonego scenariusza katastrofy.



Rys. 9. Profil zwierciadła wody i przepływów dla jednego ze scenariuszy katastrofy zapory zbiornika Świnna Poręba (moment maksymalnego odpływu z profilu wyrwy).

7. Opracowanie zasięgów stref zalewowych oraz mapy propagacji fali powodziowej w dolinie

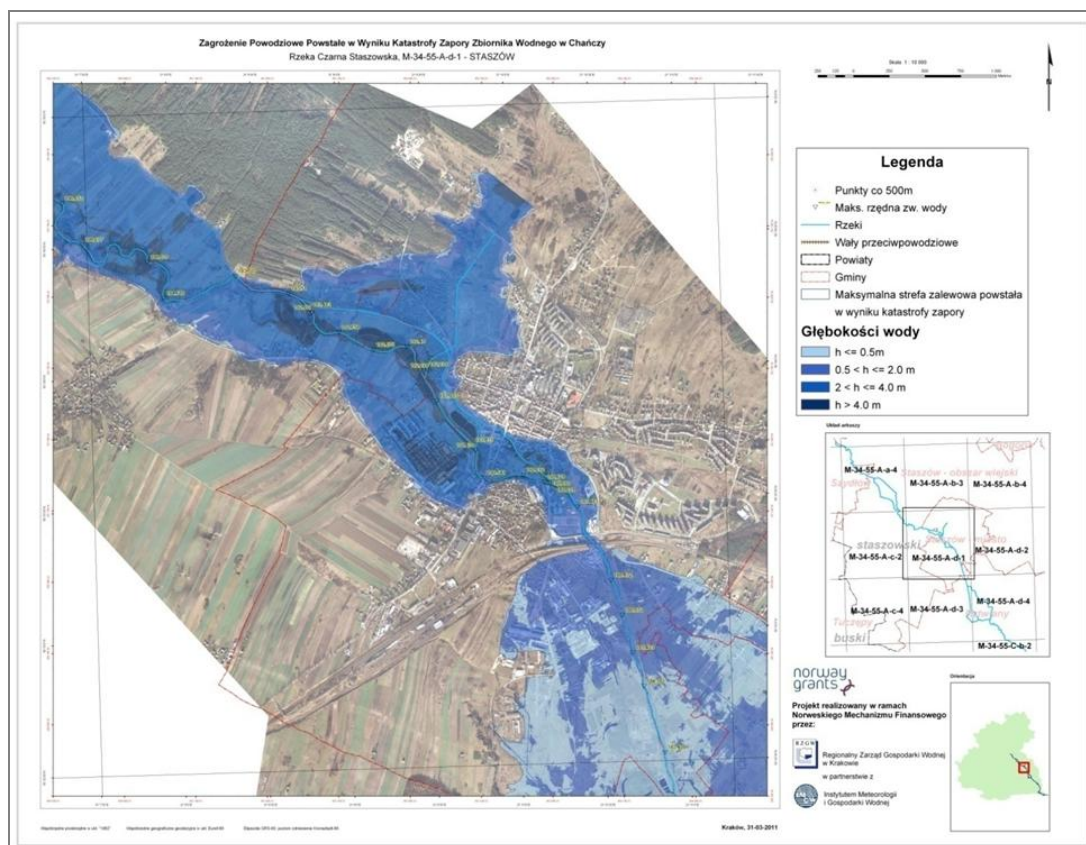
W oparciu o wyniki modelowania hydraulicznego oraz numeryczny model terenu dla dolin poniżej zapór, wyznaczono zasięgi stref zalewowych dla każdego z rozważanych scenariuszy katastrofy. W przypadku zapory zbiornika wodnego w Chańczy, oprócz zasięgów stref zalewowych wyznaczonych na podstawie modelu 1D, opracowano również animacje prezentujące przemieszczanie się fali powodziowej wywołanej katastrofą zapory – dla najbardziej ekstremalnego scenariusza.



Rys. 10. Zasięgi stref zalewowych z modelu 1D opracowane dla doliny poniżej zapory w Świnnej Porębie (po lewej) oraz fragment animacji z modelu 2D, prezentującego rozprzestrzenianie się fali powodziowej w dolinie poniżej zapory w Chańczy.

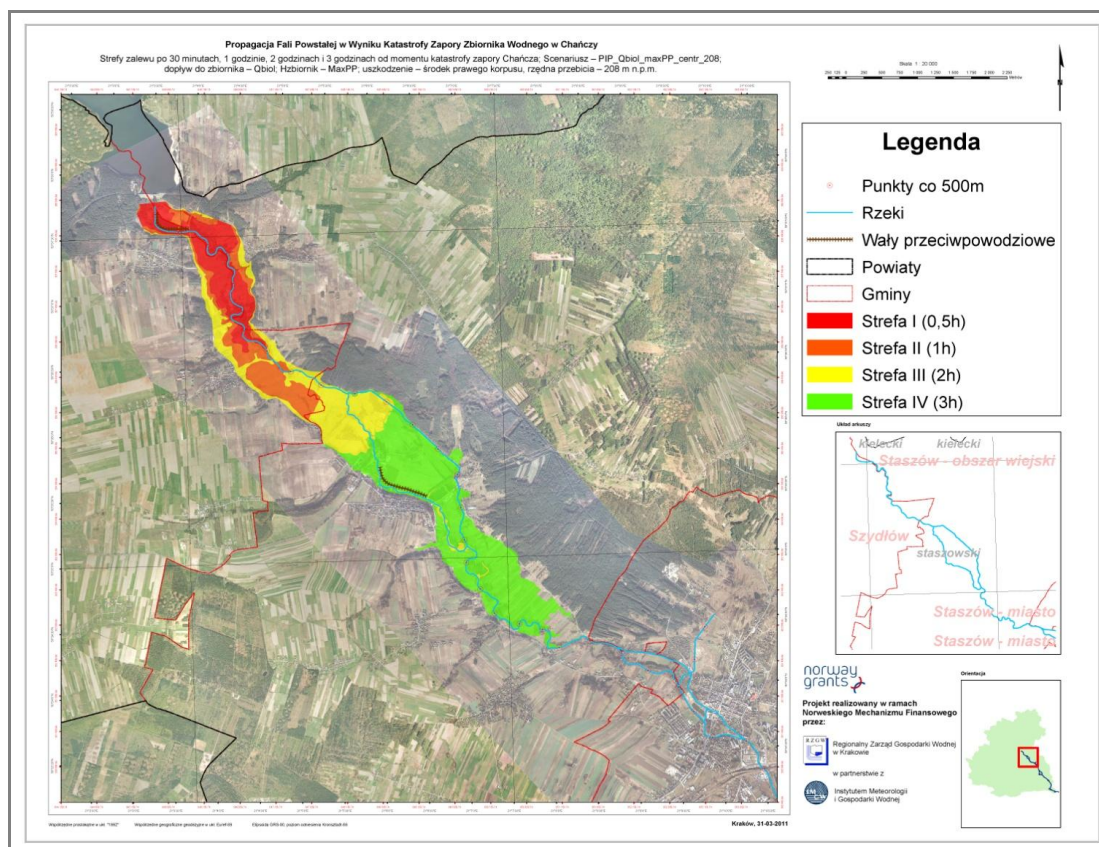
W zasięgach poszczególnych stref zalewowych poniżej zapór w Chańczy i Besku przeprowadzono analizy przestrzenne (GIS), polegające na inwentaryzacji zagrożonej w przypadku katastrofy infrastruktury technicznej (drogi, linie kolejowe, itp.) oraz zabudowy (budynki mieszkalne, gospodarcze, zakłady przemysłowe, budynki użyteczności publicznej).

Ostatecznie, dla każdego z trzech analizowanych obiektów, tj. zapory ziemnej zbiornika w Chańczy oraz Świnnej Porębie, a także dla zapory betonowej zbiornika w Besku, opracowano mapy prezentujące zasięgi stref zalewowych wraz z głębokościami wody dla wybranych scenariuszy. Mapy te opracowano w formacie arkuszy w skali 1 : 10 000, na podkładzie map topograficznych i ortofotomapy. Głębokości wody w strefach zalewowych przedstawiono wg przedziałów głębokościowych przyjętych jako obowiązujące dla opracowania map zagrożenia powodziowego.



Rys. 11. Przykładowy arkusz mapy zagrożenia powodziowego, opracowany dla scenariusza katastrofy zbiornika wodnego Chańcza.

Oprócz opracowania map prezentujących maksymalne zasięgi stref zalewowych dla poszczególnych scenariuszy katastrof, opracowano również mapy przedstawiające propagację fali powodziowej wywołanej katastrofą w dolinie poniżej zapory, dla wybranego scenariusza. Informacja przedstawiona na tych mapach pozwala na określenie tempa przemieszczania się czoła fali powodziowej w dolinie, stanowiąc kluczowy dla służb kryzysowych, materiał umożliwiający zaplanowanie szczegółów ewentualnej akcji ewakuacyjnej w przypadku pojawienia się zagrożenia katastrofą.



Rys. 12. Mapa propagacji fali powodziowej w czasie, opracowana dla scenariusza katastrofy zbiornika wodnego Chańcza.

Podsumowanie

W ramach opisanych w artykule opracowań, przeprowadzono obliczenia modelowe katastrof zapór czołowych zbiorników wodnych: Chańcza, Besko i Świnna Poręba i na podstawie uzyskanych wyników wygenerowano zasięgi stref zalewowych dla założonych scenariuszy katastrof. Opracowano modele hydrauliczne, obejmujące czasę zbiorników, zapory czołowe (wraz z urządzeniami zrzutowymi) oraz doliny rzek poniżej obiektów. Modele dla dolin poniżej zapór poddano procesowi kalibracji i weryfikacji na wezbraniach historycznych. Przeprowadzono również kalibrację pojemności czasz zbiorników, gwarantującą odzwierciedlenie przez model hydrauliczny faktycznych ich napełnień przy różnych poziomach piętrzenia.

W obliczeniach modelowych przyjęto szereg założeń brzegowych, m.in. w zakresie przyczyn inicjacji katastrof, warunków hydrologicznych, początkowych napełnień zbiorników, czy miejsc powstania uszkodzeń w korpusach zapór, analizując również pracę urządzeń zrzutowych (przelewy, spusty denne, elektrownie) – w warunkach normalnych i powodziowych. Na bazie tych założeń opracowano listy potencjalnych scenariuszy katastrof.

Scenariusze wprowadzono do modeli hydraulicznych i przeprowadzono obliczenia symulacyjne. W efekcie otrzymano scenariusze wynikowe, dla których opracowano zasięgi stref zalewowych w dolinach poniżej zapór.

Dla wybranych stref zalewowych opracowano mapy prezentujące rozkłady głębokości wody. Dla najbardziej niekorzystnych scenariuszy, przygotowano również mapy propagacji fali powodziowej w dolinach rzek poniżej zapór, ilustrujące rozprzestrzenianie się czoła fali w dolinie w kolejnych godzinach od chwili katastrofy.

Opracowane przez RZGW w Krakowie do tej pory analizy zagrożeń powodziowych, spowodowanych katastrofami zapór zbiorników wodnych w Chańczy i Besku (2009-2011) oraz w Świnnej Porębie (2012), stanowią kompleksowy materiał informacyjny o hipotetycznych

skutkach katastrof tych obiektów dla terenów znajdujących się w dolinach poniżej – opracowany z wykorzystaniem nowoczesnych technik obliczeniowych (modelowanie hydrauliczne) oraz bazujący na aktualnych danych geodezyjnych i kartograficznych (numeryczny model terenu, ortofotomapy).

Wyniki opracowań stanowią mogą podstawę dla budowy lub modernizacji systemów ostrzegania przed nadejściem fali powodziowej wywołanej katastrofą w dolinie poniżej obiektu, a także materiał informacyjny dla służb kryzysowych, pozwalający na zaplanowanie szczegółów akcji ewakuacyjnej, na wypadek ewentualnej katastrofy zapory.

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.