

ANDRZEJ WITA, KAMIL MAŃK, MAŁGORZATA ZIELIŃSKA

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie

## SYSTEM INFORMACJI PRZESTRZENNEJ DLA BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono tworzenie systemu informacji przestrzennej dla budowli piętrzących. Zaprezentowano mapę cyfrową z naniesionymi budowlami piętrzącymi klasy I, II i III, administrowanymi przez jednostki podległe Prezesowi Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej. System zawiera warstwę ze strefami zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofą zapór. Dla jednej z zapór skutki katastrofy przedstawiono na aktualnym podkładzie ortofotomapy wykonanej na podstawie zdjęć satelitarnych. Postać mapy wynikowej, sporządzonej według standardów systemu ArcGIS, jest zgodna ze standardami Komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MHPH).

**Słowa kluczowe:** GIS, budowla piętrząca

### Wstęp

Polska na tle innych państw europejskich jest stosunkowo uboga w zasoby wody słodkiej. Miarą wielkości zasobów wód powierzchniowych kraju jest średni roczny odpływ rzeczny z jego obszaru. Dla Polski wskaźnik ten w drugiej połowie XX wieku wyniósł średnio 1600 m<sup>3</sup>/rok, czyli około 1/3 wartości średniej europejskiej. Sytuację może poprawić odpowiednia gospodarka wodna w całym kraju, uwzględniająca podstawowe zagrożenia, jakimi są powódzie i susze. Łagodzenie ich skutków może być realizowane za pomocą retencjonowania wody w zbiornikach. W Polsce gromadzi się tam około 6,5% średniego odpływu rocznego, podczas gdy warunki naturalne pozwalają na zwiększenie retencji zbiornikowej do 15% odpływu (DOBROWOLSKI i SŁOTA 2005).

### Katastrofy budowli piętrzących w Polsce i na świecie

Budowa zbiorników to z jednej strony zwiększenie dyspozycyjnych zasobów wodnych i poprawa bilansu wodnego kraju, ale z drugiej zagrożenie dla bezpieczeństwa

ludzi i infrastruktury w dolinie rzeki poniżej zapory. Jak ono jest duże, mogą świadczyć słowa Dyrektora Służb Bezpieczeństwa Zapór w stanie Pensylwania, Josepha Ellama: „Nie ma innej budowli wykonanej przez człowieka, oprócz elektrowni nuklearnych, która posiada tak duży potencjał unicestwienia życia dużej liczby ludzi, jak zaporą”. Prawdziwość tych słów potwierdzają skutki katastrof zapór, które się wydarzyły na świecie. Poniżej przedstawiono krótką informację o kilku z nich.

Tabela 1. Wybrane katastrofy zapór na świecie (Katastrofy zapór... 2000, FIEDLER i IN. w druku)  
Table 1. Selected disasters of dams in the world (Katastrofy zapór... 2000, FIEDLER i IN. w druku)

Rok	Zapora	Rzeka	Kraj	Ofiary śmiertelne
1802	Puentes	Guadalentin	Hiszpania	680
1889	South Fork	Little Conemaugh	USA	2 209
1928	St. Francis	Santa Clara	USA	470
1963	Vajont	Vajont	Włochy	2 600
1959	Malpasset	Reyran	Francja	421
1976	Teton	Teton	USA	11 (14)
1975	Banqiao	Ru	Chiny	230 tys.*

\*85 tys. bezpośrednio + 145 tys. – epidemia.

Na szczęście w Polsce nie było aż tak tragicznych w skutkach katastrof zapór (tab. 2), ale wydarzenia ostatnich lat budzą niepokój – można zauważyć wyraźny wzrost katastrof, i to obiektów niższych klas, w których kontrola bezpieczeństwa nie jest rygorystycznie przestrzegana.

Tabela 2. Katastrofy zapór w Polsce (FIEDLER i IN. w druku)  
Table 2. Disasters of dams in Poland (FIEDLER i IN. w druku)

Rok	Zapora	Rzeka	Ofiary śmiertelne
1967	Iwiny – osadnik		14
1979	Ostrołęka – osadnik		1
1997	Dychów	Bóbr	
2000	Górowo Iławeckie	Młynówka	3
2001	Wióry	Świślina	
2001	Kanał Raduni w Gdańsku	Radunia	
2002	Bliżyn	Kamienna	

Zapobieganie katastrofom zapór to przede wszystkim odpowiedni system organizacyjno-prawny, na który się składają:

- przepisy prawne, regulujące całokształt spraw związanych z bezpieczeństwem budowli piętrzących,
- monitoring stanu technicznego i bezpieczeństwa budowli na każdym etapie ich budowy oraz eksploatacji,
- właściwa eksploatacja i remonty.

Jednym z elementów usprawniających zarządzanie bezpieczeństwem zapór jest właściwa informacja o nich i o zagrożeniach, czyli odpowiednie bazy danych. Ze względu na przestrzenny charakter informacji przy tworzeniu takich baz danych lub rejestrów coraz częściej są wykorzystywane systemy informacji geograficznej (GIS).

### **Mapa cyfrowa *Budowle piętrzące***

W Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w latach 2004-2005 wykonywano projekt *Mapa cyfrowa. Budowle piętrzące I, II i III klasy*, finansowany przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska. Jego celem było stworzenie narzędzia wspomagającego zarządzanie bezpieczeństwem budowli piętrzących, powiązanego z systemem informacji przestrzennej, umożliwiającym szybką lokalizację budowli na mapie. Jako podstawę przyjęto bazy danych będące w dyspozycji Ośrodka Technicznej Kontroli Zapór IMGW oraz cyfrową mapę podziału hydrograficznego Polski w skali 1:50 000 (MPHP), opracowaną w Ośrodku Zasobów Wodnych IMGW na zlecenie Ministra właściwego do spraw środowiska oraz sfinansowaną ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Wykorzystano tu oprogramowanie ArcGIS. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski jest wykonana w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PUWG 1992 i stanowi warstwę referencyjną systemów informacyjnych Ministerstwa Środowiska. Jako uzupełnienie do systemu wprowadzono informacje o skutkach ewentualnych katastrof dla ponad dwudziestu zapór w Polsce. Wykorzystano dokumentację kartograficzną stref zagrożenia powodziowego, będącą w dyspozycji Ministerstwa Środowiska. Mapa składa się z:

- warstw tematycznych, wygenerowanych z Mapy Podziału Hydrograficznego Polski wraz z relacyjną bazą danych, stanowiących referencję dla mapy cyfrowej budowli piętrzących,
- warstw tematycznych dotyczących budowli piętrzących oraz stref zagrożenia wraz z relacyjną bazą danych budowli piętrzących.

Z komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski wykorzystano następujące warstwy:

- liniową wybranych rzek,
- liniową odcinków wybranych cieków,
- poligonową szerokich rzek,
- poligonową wybranych zbiorników.

Warstwa tematyczna *Budowle piętrzące*, utworzona w systemie ArcGIS, jest warstwą punktową, wygenerowaną na podstawie współrzędnych geograficznych każdej budowli, a następnie przeliczoną do obowiązującego układu PUWG 1992. Poniżej przedstawiono elementy tej warstwy. Są to:

- nazwa budowli piętrzącej,
- jej klasa,

- rok zakończenia budowy,
- opis typu budowli (np. jaz, śluza itp.),
- długość geograficzna,
- szerokość geograficzna.

W bazie danych uwzględniono 122 budowle piętrzące I, II i III klasy, administrowane przez jednostki podległe Prezesowi Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej. Baza danych budowli piętrzących zawiera trzy podstawowe grupy informacji:

1) dane identyfikujące budowlę:

- nazwa aktualna, a także inne, np. poprzednia, dodatkowa itp.,
- współrzędne geograficzne: długość i szerokość geograficzna (charakterystycznego punktu budowli),
- gmina, powiat oraz województwo, na terenie których jest położona,
- oficjalna nazwa rzeki lub ciek, na którym ją wzniesiono.

2) dane administracyjne – pełna nazwa właściciela wraz z jego adresem i numerami telefonów,

3) dane techniczne.

Ogólne dane techniczne budowli to informacje, które można określić dla wszystkich typów budowli (klasa, wysokość piętrzenia, podłoże, rodzaj upustów, maksymalny przepływ przez upusty, typ zamknięć, wiadomości na temat jej przebudowy). W zależności od typu budowli (zapora, jaz, śluza, zbiornik) w bazie są kodowane różne jej dane techniczne:

- zapora – długość, wysokość, typ, lokalizacja, rodzaj uszczelnienia,
- zbiornik – nazwa, przeznaczenie, typ, rok napełnienia, pojemność całkowita projektowana, pojemność całkowita aktualna, pojemność użytkowa, pojemność powodziowa stała, pojemność forsowana, powierzchnia przy maksymalnym poziomie piętrzenia,
- jaz – długość, wysokość, ilość przesł, światło całkowite, maksymalny przepływ,
- śluza – ilość komór, długość i szerokość użytkowa głównej komory, spad.

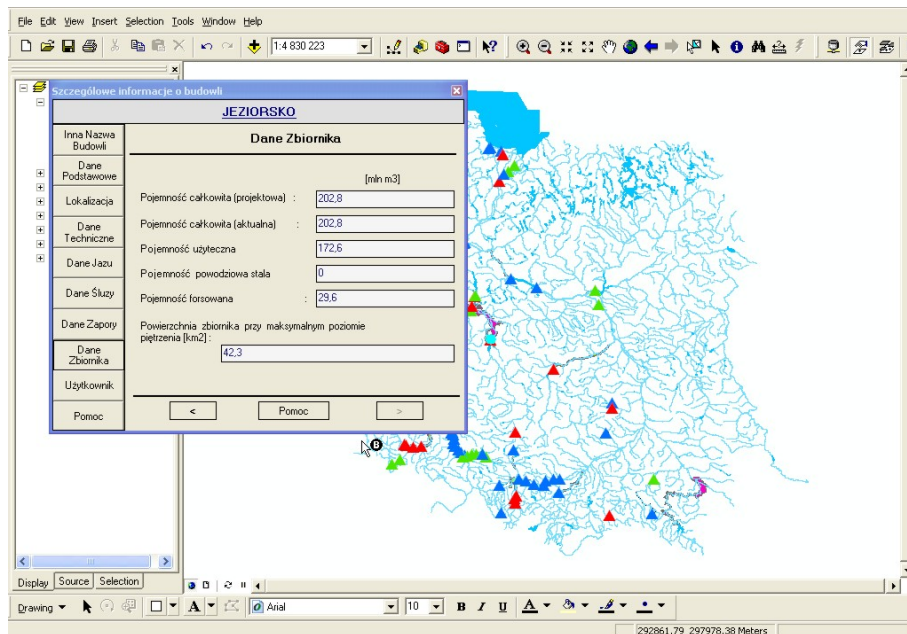
## Oprogramowanie eksploatacyjne bazy danych

Do obsługi bazy danych opracowano aplikację do programu ArcMap, która umożliwia prezentację danych oraz wyszukiwanie obiektów na mapie za pomocą wcześniej zdefiniowanych zapytań. Prezentacja polega na wskazaniu na mapie budowli (rys. 1). Wyświetla się wówczas jej nazwa oraz przyciski umożliwiające wyświetlenie danych szczegółowych, zawartych w kilku grupach, takich jak: nazwa; lokalizacja; dane podstawowe, techniczne, jazu, śluzy, zapory, zbiornika; użytkownik oraz pomoc dla korzystającego z programu (rys. 2). Zdefiniowane zapytania umożliwiają wyszukiwanie na mapie budowli lub ich grupy. Możliwe jest wyszukiwanie według:

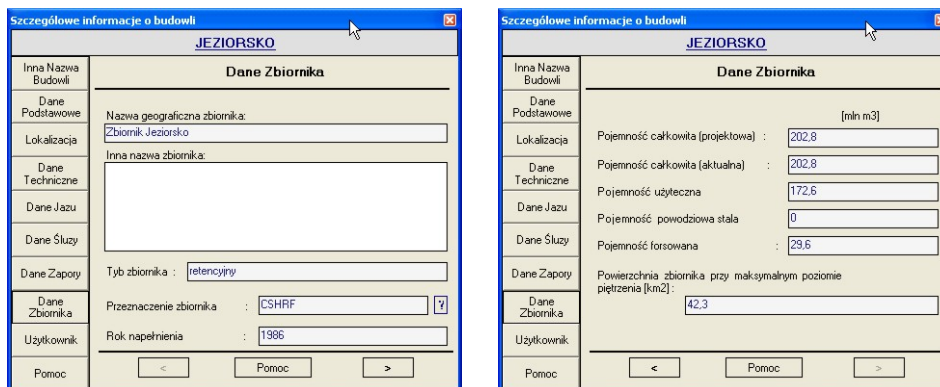
- nazwy,
- wybranej klasy (I, II lub III),
- lokalizacji na wybranej rzece,
- piętrzenia powyżej zadanej wartości,
- piętrzenia w zadanym przedziale,
- całkowitej pojemności zbiornika powyżej zadanej wartości,

- całkowitej pojemności zbiornika w zadanym przedziale,
- wybranego użytkownika.

Poza zdefiniowanymi w aplikacji zapytaniem można sformułować dowolne inne zapytanie, zgodnie z regułami zapytań dla systemu ArcGIS.



Rys. 1. Widok ekranu aplikacji z danymi budowli piętrzącej Jeziorsko  
Fig. 1. Application's screen view with data of Jeziorsko hydraulic structure



Rys. 2. Przykładowe dane zbiornika Jeziorsko w okienkach informacyjnych aplikacji  
Fig. 2. Exemplary data of Jeziorsko reservoir in application's window

## Strefy zagrożenia powodzią w wyniku katastrofy zapory

Obecnie brak obowiązujących przepisów definiujących strefy zagrożenia. W przeszłości przy ich określaniu posługiwano się Zarządzeniem Nr 135 Ministra właściwego do spraw rolnictwa z dnia 20 grudnia 1979 roku, gdzie w punkcie 3.1 mowa o określeniu na mapie „stref zagrożonych falą powstałą na skutek awarii”, a także o „prędkości i wysokości fali oraz czasie dotarcia jej do określonych miejsc”.

W operatach wykonywanych zgodnie z tym zarządzeniem na mapach są określone strefy, które zostaną zalane w wyniku katastrofy zapory (strefy zalewu). W niektórych opracowaniach istnieje kilka scenariuszy tego zdarzenia. Warianty różnią się najczęściej wysokością piętrzenia w chwili katastrofy, przy założeniu, że katastrofa następuje gwałtownie w wyniku zniszczenia całej zapory lub powstania wyrwy o określonej długości.

W 1987 roku w Ministerstwie Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa przyjęto podział na trzy strefy zagrożenia w razie katastrofy budowlanej piętrzącej:

Strefa 1 – fala czołowa dociera do krańca strefy w ciągu 15 minut,

Strefa 2 – fala czołowa dociera do krańca strefy w ciągu 60 minut,

Strefa 3 – fala czołowa dociera do strefy w czasie powyżej 60 minut, a granica strefy kończy się w miejscu, gdzie fala po awarii budowlanej przechodzi w obszar wód powodziowych.

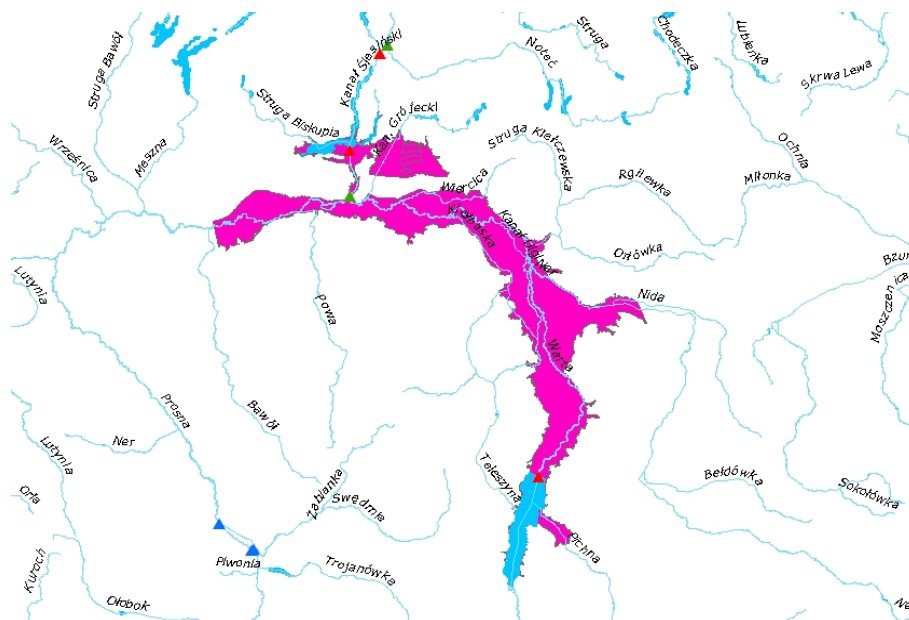
Do opracowania warstwy stref zagrożenia wykorzystano materiały Ministerstwa Środowiska. Dokumentacja pochodzi z różnych okresów, od lat sześćdziesiątych do dziewięćdziesiątych. Obliczenia, stanowiące podstawę określenia zasięgu strefy zalewu powodziowego w wyniku katastrofy budowlanej piętrzącej, wykonano najczęściej metodą analityczną, gdzie zakładano wariantowo poziom piętrzenia zbiornika oraz szerokość wyrwy w zaporze, która powstaje w bardzo krótkim czasie (praktycznie natychmiast). Osobno jest liczony wpływ ze zbiornika i osobno przebieg fali powodziowej w dolinie rzeki poniżej zapory. Analityczne rozwiązanie równań różniczkowych, opisujących wpływ ze zbiornika i przebieg fali powodziowej (równania Saint-Venanta), jest możliwe dzięki daleko idącym uproszczeniom. Z tego powodu od wielu lat obserwuje się dynamiczny rozwój metod matematycznego modelowania transformacji fali powodziowej. W wielu ośrodkach naukowych w Polsce i na świecie powstały modele numeryczne, zarówno jedno-, jak i dwuwymiarowe, dające znacznie lepsze i bardziej wiarygodne rozwiązania, bez konieczności stosowania dużych uproszczeń i ograniczeń.

W opisywanym projekcie zidentyfikowano i adaptowano strefy zagrożenia w wyniku katastrofy dla 22 zapór w Polsce. W dostępnych opracowaniach strefy te są jednak definiowane niejednorodnie; i tak dla strefy pierwszej czas dojścia fali czołowej waha się od 15 lub 30 minut, dla strefy drugiej: od 15 do 60 lub od 30 do 60 minut, dla strefy trzeciej zaś: powyżej 60 lub 90 minut.

Przykładowo dla zapory czołowej zbiornika wodnego Jeziorsko obliczono strefy zalewu trzech wariantów rzędnej piętrzenia. Przyjęto założenie, że szerokość wyrwy w zaporze czołowej wynosić będzie około 200 metrów. Zasięg fali awaryjnej, powstałej w wyniku katastrofy, opracowano, w zależności od wysokości piętrzenia i pojemności zbiornika, w trzech wariantach.

Wariant	Rzędna piętrzenia (m n.p.m.)	Pojemność zbiornika (mln m <sup>3</sup> )
I	119,5	246,4
II	116,0	124,5
III	111,0	30,2

Strefę zalewu dla wariantu pierwszego przedstawiono na rysunku 3 kolorem różowym (w druku – ciemnoszarym).



Rys. 3. Wariant pierwszej strefy zalewu dla zbiornika Jeziorsko, skala 1:1 000 000

Fig. 3. Variant I of inundation zone for Jeziorsko reservoir, scale 1:1 000 000

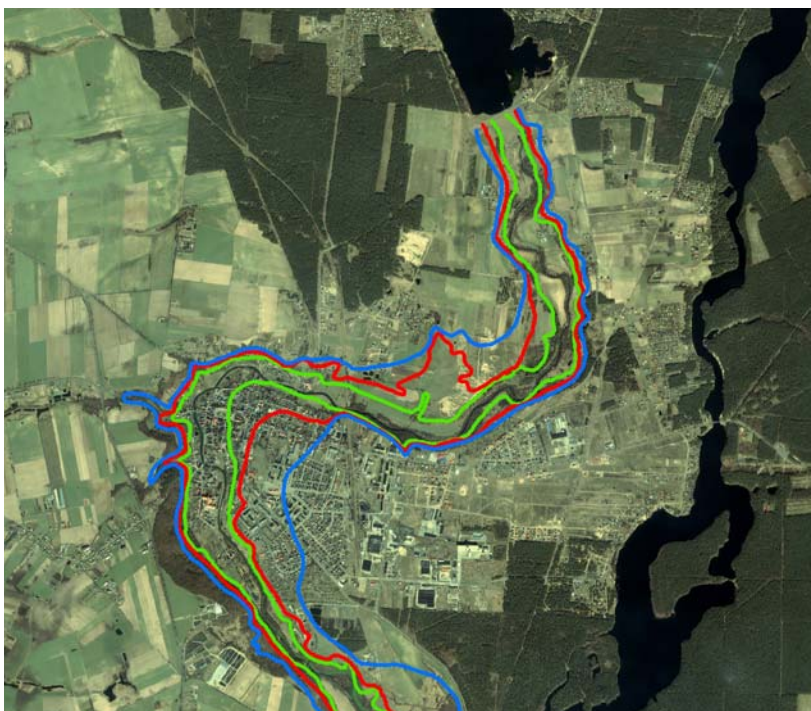
### Możliwości wykorzystania zdjęć satelitarnych

Strefy zalewu lub zagrożenia w wyniku katastrofy zapory winny być przedstawiane na możliwie aktualnym podkładzie topograficznym albo opracowane na bazie aktualnych zdjęć lotniczych lub satelitarnych. W Polsce jednym z najbardziej zagrożonych ewentualną katastrofą zapory rejonów jest dolina Brdy, poniżej zapory w Pieczyskach (zwanej zaporą Koronowską). Poniżej niej leży ponaddziesięcioletni Koronowo, dwa mniejsze zbiorniki: Smukała i Trzyczyn, oraz Bydgoszcz. W ramach prac Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej dla potrzeb mapy cyfrowej *Budowle piętrzące* zwektoryzowano strefę zalewu w wyniku katastrofy zapory, a dane zawarto w opracowaniach Hydroprojektu z 1973 i 1975 roku „Określenie skutków awarii budowli piętrzącej w wyniku rozprzestrzeniania się fali wodnej – zbiornik Koronowo”. Przyjęto w nim szerokość wyrwy w zaporze (80 m) oraz trzy warianty rzędnej piętrzenia w momencie katastrofy.

Wariant	Rzędna piętrzenia (m n.p.m.)	Pojemność zbiornika (mln m <sup>3</sup> )
I	82,0	89,6
II	79,0	48,0
III	72,70	9,0

Z opracowania wynika, że czoło fali powstałej w wyniku katastrofy dotrze do Koronowa w ciągu 10-15, a do Bydgoszczy 90-120 minut.

Do systemu wprowadzono zakupione zdjęcia satelitarne doliny Brdy, od zbiornika Koronowskiego do ujścia Brdy do Wisły. Zdjęcia satelitarne wykonano 12 kwietnia 2005 roku z satelity IKONOS. Na ich podstawie opracowano ortofotomapę doliny Brdy poniżej zbiornika. Mapę wcielono do dodatkowo utworzonej warstwy, umożliwiając wizualizację skutków ewentualnej katastrofy zapory. Na rysunku 4 przedstawiono strefy zalewu bezpośrednio poniżej zapory, obejmujące Koronowo. Kolorem niebieskim (w druku kolor szary) oznaczono wariant pierwszy (I), czerwonym (w druku kolor ciemnoszary) – drugi (II), a kolorem zielonym (w druku kolor jasnoszary) – trzeci (III).



Rys. 4. Strefy zalewu dla zbiornika Koronowo, skala 1:50 000

Fig. 4. Inundation zones for Koronowo reservoir, scale 1:50 000

## Podsumowanie

Opracowana mapa cyfrowa budowy piętrzących jest podstawą do stworzenia rejestru wszystkich budowli tego typu w Polsce. W następnych etapach w systemie powinny się znaleźć pozostałe budowle klasy pierwszej, drugiej i trzeciej (niezależnie od tego, kto jest ich właścicielem) oraz czwartej, a także ważne budowle pozaklasowe, mające znaczenie dla bezpieczeństwa. Postać wynikowa mapy sporządzonej w systemie ArcGIS jest zgodna ze standardami Komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski



i spełnia wymogi Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej. Konstrukcja informatyczna mapy i jej bazy danych umożliwi aktualizowanie i rozbudowę o pozostałe budowle piętrzące.

Analiza dotychczasowej dokumentacji stref zagrożeń wykazała, że ze względu na wymogi ochrony przeciwpowodziowej oraz na obecny stan wiedzy i środków technicznych, niezbędna się staje weryfikacja zasięgu stref zagrożeń – zwłaszcza wyznaczonych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, a także podjęcie sukcesywnego wyznaczania takich stref dla pozostałych budowli piętrzących nowoczesnymi metodami symulacji komputerowej oraz modelami numerycznymi terenu. Metody te są coraz częściej stosowane na całym świecie. W 1998 roku Międzynarodowy Komitet Wielkich Zapór (ICOLD) opublikował Biuletyn nr 111, poświęcony analizie fali powodziowej spowodowanej przerwaniem zapory, który zawiera przegląd stosowanych metod obliczeniowych oraz zalecenia. W 2000 roku zakończono projekt CADAM (Concerted Action on Dambreak Modelling), finansowany przez Komisję Europejską w ramach Czwartego Programu Ramowego. W trakcie jego realizacji odbyły się konferencje i warsztaty poświęcone modelowaniu przerwania zapór. Istnieje raport końcowy projektu oraz wytyczne dotyczące zastosowań modelowania przerwania zapór.

Do wizualizacji ewentualnych skutków katastrofy zapory oprócz zdjęć satelitarnych można wykorzystać mapy topograficzne i na ich tle prezentować strefy zagrożenia. Do systemu łatwo można wprowadzić zeskanowane mapy topograficzne i zdjęcia satelitarne terenów poniżej głównych zapór polskich, obejmujących strefy zagrożenia. Zdjęcia satelitarne mogą mieć nad mapami topograficznymi przewagę ze względu na ich aktualność.

## Literatura

- DOBROWOLSKI A., SŁOTA H., 2005. Stan zasobów wodnych Polski w drugiej połowie XX wieku. Post. Nauk Roln. 3.
- Katastrofy zapór – Analiza statystyczna. Biuletyn 99 CIGB-ICOLD. 2000. Pol. Kom. Wielkich Zapór, Warszawa.
- FIEDLER K. (w druku). Awarie i katastrofy zapór – zagrożenia, ich przyczyny i skutki, zapobieganie oraz systemy ostrzegawcze. IMGW. Seria Monografie.

## GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR HYDRAULIC STRUCTURES

**Summary.** The problems connected to creating application GIS for hydraulic structures are presented. Digital map with hydraulic structures of I, II and III class which are administrated by institutions governed by National Board of Water Management are described. The layer of flood zones which are connected to dam disaster are included to system. Range of flood zones are drawn on satellite photo for example for one of dam. Standards of ArcGIS system and Computer Hydrographic Map for Poland are fulfilled.

**Key words:** GIS, hydraulic structure

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Andrzej Wita, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, ul. Podleśna 61, 01-673 Warszawa, Poland, e-mail: andrzej.wita@imgw.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.05.2007*

*Do cytowania – For citation: Wita A., Mańk K., Zielińska M., 2007. System informacji przestrzennej dla budowli piętrzących. Nauka Przyr. Technol. 1, 2, #34.*