



RAPORT Z WYKONANIA PRZEGLĄDU I AKTUALIZACJI MAP ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO I MAP RYZYKA POWODZIOWEGO

ZAŁĄCZNIK NR 3

METODYKA OPRACOWANIA MAP ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO I MAP RYZYKA POWODZIOWEGO DLA OBSZARÓW NARAŻONYCH NA ZALANIE W PRZYPADKU ZNISZCZENIA LUB USZKODZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH - CZ. II



**METODYKA OPRACOWANIA MAP ZAGROŻENIA
POWODZIOWEGO I MAP RYZYKA POWODZIOWEGO
DLA OBSZARÓW NARAŻONYCH NA ZALANIE
W PRZYPADKU USZKODZENIA LUB ZNISZCZENIA
BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH – CZ. II**

WYKONAWCA:

MGGP S.A.

Kraków, 2021

WERSJA nr 1.00



Fundusze Europejskie
Infrastruktura i Środowisko



Państwowe
Gospodarstwo Wodne
Wody Polskie

Unia Europejska
Fundusz Spójności



*Projekt: Przegląd i aktualizacja map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego
Nr Projektu: POIS.02.01.00-00-0013/16*



SPIS TREŚCI

WYKAZ SKRÓTÓW	5
1. WPROWADZENIE.....	7
1.1. PODSTAWY PRAWNE.....	7
1.2. PODSTAWY METODYCZNE.....	9
1.3. KONTROLA JAKOŚCI PRODUKTÓW	9
2. ZAWARTOŚĆ MZP i MRP DLA SCENARIUSZA USZKODZENIA LUB ZNISZCZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH	10
3. OPIS SCENARIUSZY POWODZIOWYCH	12
3.1. ZASADY TWORZENIA WARIANTÓW KATASTROFY.....	12
3.2. WARUNKI HYDROLOGICZNE W ZLEWNI POWYŻEJ ZBIORNIKA PRZED KATASTROFĄ.....	13
3.3. STAN NAPEŁNIENIA ZBIORNIKA PRZED KATASTROFĄ	14
3.4. PRZEPUSTOWOŚĆ URZĄDZEŃ UPUSTOWYCH.....	14
3.5. IDENTYFIKACJA MOŻLIWYCH WARIANTÓW KATASTROFY ZAPORY BETONOWEJ.....	14
3.5.1. Uszkodzenie korpusu zapory.....	15
3.5.2. Przelanie wody przez koronę zapory.....	15
3.6. IDENTYFIKACJA MOŻLIWYCH WARIANTÓW KATASTROFY ZAPORY ZIEMNEJ	16
3.7. LICZBA ANALIZOWANYCH WARIANTÓW	19
4. DANE WEJŚCIOWE DO MZP I MRP	22
4.1. DANE GEODEZYJNE.....	22
4.1.1. Przekroje poprzeczne (dolinowe).....	22
4.1.2. Obiekty inżynierskie	22
4.1.3. Wały przeciwpowodziowe	22
4.2. DANE O BUDOWLACH PIĘTRZĄCYCH, OBJĘTYCH OPRACOWANIEM MAP	23
4.3. DANE HYDROLOGICZNE I METEOROLOGICZNE	24
4.4. NUMERYCZNE DANE WYSOKOŚCIOWE	26
4.4.1. Numeryczny model terenu (NMT)	26
4.4.2. Numeryczny model pokrycia terenu (NMPT).....	26
4.5. WYKAZ DANYCH DO OPRACOWANIA MZP i MRP	27
5. METODYKA OPRACOWANIA MZP	30
5.1. METODYKA MODELOWANIA HYDRAULICZNEGO	30
5.1.1. Model hydrodynamiczny katastrofy zapory.....	30
5.1.1.1. Odwzorowanie czasy zbiornika i kształtu zapory.....	31
5.1.1.2. Reguły sterowania odpływem ze zbiornika.....	32



5.1.1.3.	Model katastrofy zapory	32
5.1.2.	Model hydrodynamiczny doliny poniżej zapory.....	34
5.1.2.1.	Schemat doliny	34
5.1.2.2.	Przekroje poprzeczne	34
5.1.2.3.	Identyfikacja parametrów hydraulicznych	35
5.1.2.4.	Obiekty inżynierskie	36
5.1.2.5.	Warunki brzegowe i ustalenie zasięgu katastrofy.....	37
5.1.2.6.	Kalibracja i weryfikacja	38
5.2.	PRZETWARZANIE WYNIKÓW MODELOWANIA I WYZNACZANIE OBSZARÓW NARAŻONYCH NA ZALANIE W PRZYPADKU ZNISZCZENIA LUB USZKODZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH	42
6.	METODYKA OPRACOWANIA MRP	45
7.	BAZY DANYCH PRZESTRZENNYCH MZP I MRP	46
7.1.	BAZY DANYCH	46
7.2.	METADANE	47
7.2.1.	Skorowidz map zagrożenia powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej	48
7.2.2.	Skorowidz map ryzyka powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej.....	49
8.	WERSJA KARTOGRAFICZNA MZP I MRP	50
9.	WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW	51
	BIBLIOGRAFIA.....	51

WYKAZ SKRÓTÓW

BDOT10k	Baza Danych Obiektów Topograficznych w skali 1:10 000
CZSW	Centralny Zarząd Służby Więziennej
GDOŚ	Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
GIOŚ	Główny Inspektorat Ochrony Środowiska
GIS	Systemy Informacji Geograficznej
GUGiK	Główny Urząd Geodezji i Kartografii
GUS	Główny Urząd Statystyczny
IGW	Instrukcja gospodarki wodnej zbiornika
IMGW-PIB	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
KG PSP	Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej
MaxPP	Maksymalny poziom piętrzenia zbiornika
MKiDN	Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego
MPHP10k	Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000
MRP	Mapy ryzyka powodziowego
MS	Ministerstwo Sprawiedliwości
MZP	Mapy zagrożenia powodziowego
NFZ	Narodowy Fundusz Zdrowia
NID	Narodowy Instytut Dziedzictwa
NMPT	Numeryczny model pokrycia terenu
NMPW	Numeryczny model powierzchni wody
NMT	Numeryczny model terenu
NOBC	System identyfikacji adresowej ulic, nieruchomości, budynków i mieszkań
NPP	Normalny poziom piętrzenia zbiornika
OZP	Obszar zagrożenia powodziowego
PGW	Plan gospodarowania wodami na obszarze dorzecza
PGW WP	Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie
PIG-PIB	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
PIS-GIS	Państwowa Inspekcja Sanitarna – Główny Inspektorat Sanitarny
PZGiK	Państwowy Zasób Geodezyjny i Kartograficzny
RZGW	Regionalne zarządy gospodarki wodnej
UW	Urzędy wojewódzkie
WIOŚ	Wojewódzki inspektorat ochrony środowiska
WORP	Wstępna ocena ryzyka powodziowego



Fundusze Europejskie
Infrastruktura i Środowisko



Państwowe
Gospodarstwo Wodne
Wody Polskie

Unia Europejska
Fundusz Spójności



*Projekt: Przegląd i aktualizacja map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego
Nr Projektu: POIS.02.01.00-00-0013/16*

1. WPROWADZENIE

1.1. PODSTAWY PRAWNE

W celu przeprowadzenia właściwej oceny ryzyka powodziowego i wypracowania sposobów zarządzania nim, a także ograniczenia negatywnych skutków występowania powodzi na terenie krajów Unii Europejskiej, opracowano dyrektywę 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, zwaną dalej „Dyrektywą Powodziową”. Dyrektywa wprowadziła obowiązek opracowania przez kraje członkowskie dokumentów planistycznych, stanowiących podstawę dla podejmowania działań mających na celu ograniczenie negatywnych konsekwencji powodzi dla zdrowia i życia ludzi, działalności gospodarczej, środowiska i dziedzictwa kulturowego.

Postanowienia Dyrektywy Powodziowej zostały implementowane do polskiego systemu prawnego ustawą o zmianie ustawy – Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw z dnia 5 stycznia 2011 r. (Dz. U. z 2001 r. Nr 32, poz. 159), która weszła w życie 18 marca 2011 r.

Zgodnie z art. 11 ust. 1 pkt 1 ww. ustawy wdrożenie Dyrektywy Powodziowej w I cyklu planistycznym (w latach 2010 – 2015) nastąpiło poprzez sporządzenie:

- wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) do 22 grudnia 2011 r.;
- map zagrożenia powodziowego (MZP) i map ryzyka powodziowego (MRP) do 22 grudnia 2013 r. (publikacja i przekazanie map organom administracji nastąpiło 15 kwietnia 2015 r.);
- planów zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszarów dorzeczy do 22 grudnia 2015 r. (rozporządzenia w sprawie planów zarządzania ryzykiem powodziowym z dnia 18 października 2016 r.).

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz. U. z 2021 r. poz. 624, z późn. zm.), zwana dalej „ustawą – Prawo wodne”, która weszła w życie 1 stycznia 2018 r., zachowuje ważność ww. dokumentów planistycznych (art. 555 ust. 2 pkt 4, 5, 7 i 9) i nakazuje ich przegląd co 6 lat oraz w razie potrzeby aktualizację. Terminy wykonania przeglądów i aktualizacji są następujące:

- wstępna ocena ryzyka powodziowego do 22 grudnia 2018 r.;
- mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego do 22 grudnia 2019 r.;
- plany zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszarów dorzeczy do 22 grudnia 2021 r.

Na podstawie art. 171 ust. 9 ustawy – Prawo wodne mapy zagrożenia powodziowego oraz mapy ryzyka powodziowego mogą zostać poddane przeglądowi oraz w razie potrzeby aktualizacji częściej niż co 6 lat, z tym, że w przypadku dokonania takiej aktualizacji należy ją ponowić z zachowaniem zasady wyrażonej w ust. 8, tj. w terminach wynikających z Dyrektywy Powodziowej.

Ustawa – Prawo wodne (w art. 169 – 171) określa ogólny zakres i sposób sporządzania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego, a także tryb ich opiniowania i uzgadniania.

Szczegółowe wymagania dotyczące opracowywania map zostały zawarte w rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 4 października 2018 r. w sprawie opracowywania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego (Dz. U. 2018 poz. 2031), zwanym dalej „Rozporządzeniem”.

Na podstawie art. 171 ust. 1 i art. 240 ust. 2 pkt 6 ustawy – Prawo wodne projekty map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego sporządzają Wody Polskie w uzgodnieniu z właściwymi wojewodami.

Wymienione przepisy prawne (Dyrektywa Powodziowa, ustawa – Prawo wodne i Rozporządzenie) są podstawą przygotowania metodyki opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego.

Zgodnie z wymaganiami Dyrektywy Powodziowej mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego sporządza się dla obszarów i typów powodzi, wskazanych we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego. W wyniku przeglądu i aktualizacji WOPR w 2018 r. wskazano obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi, tj. obszary, na których istnieje znaczące ryzyko powodzi lub jego wystąpienie jest prawdopodobne, obejmujące następujące typy powodzi:

- 1) powódź rzeczna – związana z wezbraniem wód rzecznych, strumieni, potoków górskich, kanałów, jezior – w dwóch scenariuszach:
 - a) naturalne wezbranie,
 - b) zniszczenie wałów przeciwpowodziowych;
- 2) powódź od strony morza – związana z zalaniem terenu przez wody morskie, w tym ujściowe odcinki rzek i jeziora przybrzeżne – w dwóch scenariuszach:
 - a) naturalne wezbranie,
 - b) zniszczenie wałów przeciwsztormowych;
- 3) powódź od urządzeń hydrotechnicznych – związana z zalaniem terenu w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących.

W ramach zadania 1 Projektu: „Przegląd i aktualizacja map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego” sporządzona została „Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego w II cyklu planistycznym”, która dotyczy powodzi rzecznych (zwana dalej „Metodyką dla powodzi rzecznych”).

Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego dla powodzi od strony morza sporządzane są przez dyrektorów urzędów morskich na podstawie odrębnej metodyki.

Natomiast niniejsza metodyka dotyczy opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego dla powodzi od urządzeń hydrotechnicznych i obejmuje scenariusz uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących.

1.2. PODSTAWY METODYCZNE

Niniejsza metodyka została opracowana na podstawie następujących dokumentów:

- **Metodyka analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami zapór o wysokości $H \geq 15\text{m}$. Projekt PL0456 „Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących”. Wykonawca: RZGW w Krakowie, IMGW, Kraków, 2011;**
- Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego w II cyklu planistycznym (wersja 7.0). Wykonawca: IMGW-PIB, ARCADIS Sp. z o.o., Warszawa, 2019 – zwana dalej Metodyką dla powodzi rzecznych;
- Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego dla obszarów narażonych na zalanie w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących – cz. I (wersja 5.0). Wykonawca: MGGP S.A., Kraków, 2020 – zwana dalej Metodyką cz. I.

Pierwszy z nich był podstawą dla wyznaczenia zasięgów zalewów powodziowych i stref głębokości zalewów dla przypadków awarii 7 zapór uwzględnionych w ramach opracowania MZP i MRP.

Drugi z ww. dokumentów metodycznych był podstawą zdefiniowania wymagań „technicznych” co do zakresu i formy MZP i MRP dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących i, w ograniczonym zakresie, uzupełnień zapisów metodycznych.

Trzeci dokument uwzględnia modyfikacje w stosunku do dokumentu z 2011 r. zastosowane przy modelowaniu awarii zapór dla 7 zbiorników, tj.: Besko, Chańcza, Świnna Poręba, Przeczyce, Słup, Mietków i Dobromierz (IMGW-PIB, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d; RZGW w Krakowie, IMGW-PIB, 2011; RZGW w Krakowie, IMGW-PIB, 2012). Jest to dokument metodyczny odnoszący się wyłącznie do tych obiektów.

Niniejsza Metodyka stanowi dokument, który w sposób całościowy opisuje sposób wykonania MZP i MRP dla scenariusza zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących dla wszystkich 26 budowli piętrzących wskazanych w przeglądzie i aktualizacji wstępnej oceny ryzyka powodziowego.

1.3. KONTROLA JAKOŚCI PRODUKTÓW

Kontrola produktów prowadzona jest zgodnie z „Procedurą i kryteriami kontroli jakości produktów” przyjętą w projekcie: „Przegląd i aktualizacja map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego”.

2. ZAWARTOŚĆ MZP i MRP DLA SCENARIUSZA USZKODZENIA LUB ZNISZCZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH

Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego sporządza się dla obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi wskazanych we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego, tj. obszarów, na których istnieje znaczące ryzyko powodzi lub jego wystąpienie jest prawdopodobne.

W przypadku powodzi od budowli piętrzących w przeglądzie i aktualizacji wstępnej oceny ryzyka powodziowego obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi zostały wyznaczone dla wybranych zbiorników zaporowych.

Zgodnie z art. 169 ust. 2 pkt 3 lit. c ustawy – Prawo wodne na mapach zagrożenia powodziowego przedstawia się: **obszary obejmujące tereny narażone na zalanie w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej.**

Zgodnie z Rozporządzeniem (§ 5 ust. 2) mapy zagrożenia powodziowego opracowuje się oddzielnie dla każdego z obszarów zagrożenia powodziowego, o których mowa w art. 169 ust. 2 ustawy – Prawo wodne.

Na podstawie § 5 ust. 3 Rozporządzenia mapy zagrożenia powodziowego z prędkością przepływu wody nie są sporządzane dla powodzi od urządzeń hydrotechnicznych, gdyż przepis ten dotyczy jedynie powodzi od strony rzek. W związku z powyższym dla obszarów obejmujących tereny narażone na zalanie w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej sporządza się tylko mapy zagrożenia powodziowego z głębokością wody.

Na mapach zagrożenia powodziowego przedstawia się m.in. następujące elementy:

- 1) obszary zagrożenia powodziowego;
- 2) głębokości wody;
- 3) maksymalne rzędne zwierciadła wody poniżej budowli piętrzącej;
- 4) wały przeciwpowodziowe;
- 5) rzędne korony wałów przeciwpowodziowych w przekrojach poprzecznych, które zostały wykorzystane w modelowaniu hydraulicznym;
- 6) kilometraże modelowanych cieków;
- 7) budowle piętrzące;
- 8) miejsce uszkodzenia budowli piętrzących.

Na mapach zagrożenia powodziowego przedstawia się głębokości wody w przedziałach określających stopień zagrożenia dla ludzi i sposób oddziaływania na obiekty budowlane, zgodnie z Rozporządzeniem:

- $h \leq 0,5$ m – oznacza niskie zagrożenie dla ludzi i obiektów budowlanych;
- $0,5 < h \leq 2,0$ m – oznacza średnie zagrożenie dla ludzi ze względu na możliwość ewakuacji na wyższe piętra budynków, ale wysokie ze względu na straty materialne;
- $2,0 < h \leq 4,0$ m – oznacza wysokie zagrożenie dla ludzi, ale bardzo wysokie ze względu na straty materialne; zalaniu mogą podlegać nie tylko partery, ale również wyższe piętra budynków;

- $h > 4$ m – oznacza bardzo wysokie zagrożenie dla ludzi i bardzo wysokie zagrożenie wystąpienia całkowitych strat materialnych.

Dla obszarów zagrożenia powodziowego, dla których wykonane zostały mapy zagrożenia powodziowego, zgodnie z art. 170 ustawy – Prawo wodne, sporządza się mapy ryzyka powodziowego.

Zakres map ryzyka powodziowego dla obszarów obejmujących tereny narażone na zalanie w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej, jest tożsamy z zakresem przedstawianym na mapach ryzyka powodziowego dla powodzi rzecznych. Należy jedynie dostosować nazwy map i zawartość legendy uwzględniając elementy właściwe dla tego scenariusza.

Ryzyko powodziowe zostało zdefiniowane w art. 16 pkt 48 ustawy – Prawo wodne i oznacza kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i potencjalnych negatywnych skutków powodzi dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej.

Mapy ryzyka powodziowego określają wartości potencjalnych strat powodziowych oraz przedstawiają obiekty narażone na zalanie w przypadku powodzi o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia. Są to obiekty, które pozwolą na ocenę ryzyka powodziowego dla zdrowia i życia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej, czyli grupy, dla których należy ograniczyć negatywne skutki powodzi zgodnie z celami Dyrektywy Powodziowej.

W tym celu na mapach ryzyka powodziowego przedstawia się:

- 1) szacunkową liczbę mieszkańców, którzy mogą być dotknięci powodzią;
- 2) rodzaje działalności gospodarczej wykonywanej na obszarach zagrożenia powodziowego;
- 3) instalacje mogące, w razie wystąpienia powodzi, spowodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości;
- 4) występowanie:
 - a) ujęć wody, stref ochronnych ujęć wody lub obszarów chronionych zbiorników wód śródlądowych,
 - b) kąpielisk,
 - c) obszarów Natura 2000, parków narodowych oraz rezerwatów przyrody;
- 5) w uzasadnionych przypadkach:
 - a) obszary, na których mogą wystąpić powodzie, którym towarzyszy transport dużej ilości osadów i rumowiska,
 - b) potencjalne ogniska zanieczyszczeń wody.

Szczegółowy zakres i wymagania dotyczące opracowywania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego, jak również skalę map, określa Rozporządzenie. Szczegółowy opis zawartości map został również przedstawiony w dalszej części metodyki.

3. OPIS SCENARIUSZY POWODZIOWYCH

Niniejsza metodyka dotyczy opracowania MZP i MRP dla scenariusza obejmującego obszary narażone na zalanie w przypadku zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzącej.

W ustawie Prawo wodne scenariusz zniszczenia i uszkodzenia budowli piętrzącej został uwzględniony jako oddzielny scenariusz, obok obszarów o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi. Tym samym nie zostało przesądzone dla jakiego prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi należy go opracować. Przepływy o średnim (1%) i wysokim (10%) prawdopodobieństwie wystąpienia, biorąc pod uwagę opisany w instrukcjach gospodarowania wodą sposób dyspozycji zrzutów wody ze zbiornika, nie powodują niebezpiecznego dla obiektu nagłego wzrostu napełnienia zbiornika, mogącego prowadzić do jego katastrofy. W związku z powyższym scenariusz uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej sporządza się jedynie dla scenariusza zdarzeń ekstremalnych, o którym mowa w art. 169 ust. 2 pkt 1 ustawy – Prawo wodne oraz art. 6 ust 3 pkt a) Dyrektywy Powodziowej.

W ramach opracowania tego scenariusza przewiduje się analizę różnych jego wariantów w zależności od rodzaju i klasy budowli, konstrukcji obiektu (w tym urządzeń upustowych) i informacji na temat jego stanu technicznego. Celem ww. analizy jest opracowanie scenariusza najbardziej niekorzystnego z punktu widzenia wielkości obszaru zagrożonego zalaniem w przypadku katastrofy budowli piętrzącej.

Podstawę metodyczną niniejszego rozdziału stanowi Metodyka analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami zapór o wysokości $H \geq 15$ m. Projekt PL0456 „Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących”. Wykonawca: RZGW w Krakowie, IMGW, Kraków, 2011. Fragmenty zaznaczone kursywą zaczerpnięte zostały z powyższej metodyki.

3.1. ZASADY TWORZENIA WARIANTÓW KATASTROFY

„Warianty katastrofy definiują 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, należy je podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- warianty dla zapór betonowych;
- warianty dla zapór ziemnych.

Powyższy podział wynika z podstawowych różnic w budowie obiektów, a co za tym idzie odmiennych przyczyn i przebiegu katastrofy. W podziale tym do pierwszej grupy należy zaliczyć zapory kamienne, a do drugiej narzutowe.

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. Wyptyw 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.” (RZGW w Krakowie, 2011).

W niniejszej metodyce zakłada się wykorzystanie modułu Dambreak Str. z oprogramowania MIKE 11 firmy DHI.

„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.” (RZGW w Krakowie, 2011).

Opracowanie prawdopodobnych wariantów katastrofy wymaga pozyskania danych dotyczących konstrukcji oraz parametrów technicznych zapór i zbiorników, omówionych w Rozdziale 4.2.

„Opracowując warianty katastrofy dla zapory należy, niezależnie od jej konstrukcji, rozpatrywać następujące czynniki:

- warunki hydrologiczne w zlewni powyżej zbiornika;
- stan napełnienia zbiornika;
- uszkodzenie lub zbyt małą przepustowość urządzeń upustowych.” (RZGW w Krakowie, 2011).

Ww. czynniki, opisano niżej (rozd. 3.2-3.4). Mogą one prowadzić do katastrofy będącej skutkiem uszkodzenia korpusu zapory lub przelania wody przez koronę zapory (rozd. 3.5, 3.6).

„Przy konstruowaniu wariantów katastrofy należy też wziąć pod uwagę:

- reguły sterowania zbiornikiem – reguły wynikające wprost z instrukcji gospodarowania wodą na obiekcie (standardowe) oraz ich wariantowe modyfikacje, np. ilustrujące zasady pracy zbiornika w sytuacji awarii części urządzeń zrzutowych (spustów dennych, klap na przelewach, itp.), czy związane z określonym (specjalnym) typem prowadzenia gospodarki wodą na zbiorniku polegającym np. na maksymalnym wstrzymywaniu zrzutów wody ze zbiornika;
- synchronizację czasu kulminacji dopływu i czasu katastrofy obiektu – tzn. zbieżność lub przesunięcie czasowe momentu dojścia kulminacji fali powodziowej do zbiornika i momentu zapoczątkowania katastrofy zapory.” (RZGW w Krakowie, 2011).

Zagadnienia te opisano w rozdziale dot. modelowania hydraulicznego (rozd. 5.1).

3.2. WARUNKI HYDROLOGICZNE W ZLEWNI POWYŻEJ ZBIORNIKA PRZED KATASTROFĄ

„Warunki hydrologiczne powinny być rozpatrywane w kontekście trybu pracy powodziowej zbiornika, gdyż do katastrof dochodzi najczęściej w warunkach wysokich dopływów do zbiornika i znacznego ich napełnienia, co przekłada się bezpośrednio na intensywność zjawisk filtracyjnych, mogących powodować przesiąki w korpusie, a także teoretyczną możliwość niebezpiecznego nadpiętrzenia zbiornika, mogącą prowadzić w pewnych przypadkach do jego przepiętnienia.” (RZGW w Krakowie, 2011).

W przypadku sprawnych urządzeń upustowych hipotetyczny hydrogram dopływu do zbiornika powinien być wyznaczany dla przepływu kulminacyjnego przekraczającego przepływ kontrolny, na który projektowana jest przepustowość urządzeń upustowych. Przy założeniu awarii tych urządzeń zaleca się przy opracowaniu wariantów katastrofy brać pod uwagę hipotetyczne wezbrania powodziowe o maksymalnym przepływie równym przepływowi kontrolnemu dla analizowanego obiektu. Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie

warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie, prawdopodobieństwo pojawienia się przepływów kontrolnych uzależnione jest od klasy budowli i wynosi od 0,02 do 0,5%. Przy wyznaczaniu wezbrań hipotetycznych należy stosować się do zaleceń sformułowanych w metodyce obliczania przepływów i opadów maksymalnych (SHP, 2017).

3.3. STAN NAPEŁNIENIA ZBIORNIKA PRZED KATASTROFĄ

„Podstawowymi początkowymi poziomami napełnienia zbiornika w czasie poprzedzającym katastrofę, zarówno w przypadku wariantu katastrofy wskutek przelania przez koronę zapory jak również wskutek przebicia hydraulicznego, powinny być:

- *normalny poziom piętrzenia (NPP);*
- *maksymalny poziom piętrzenia (MaxPP).*

Normalny poziom piętrzenia odpowiada trybowi normalnej pracy budowli piętrzącej, umożliwiającemu spełnienie wszystkich realizowanych przez zbiornik funkcji. Zakłada się, że symulowane wezbranie następuje gwałtownie, nie dając czasu na obniżenie poziomu zwierciadła wody w zbiorniku. Natomiast przyjęcie maksymalnego poziomu piętrzenia odpowiada sytuacji, w której po pierwszej fali wezbraniowej, spracowanej prawidłowo przez zbiornik, przed obniżeniem zwierciadła wody do normalnego poziomu piętrzenia następuje kolejne wezbranie.” (RZGW w Krakowie, 2011).

W ramach opracowania MZP i MRP przyjmuje się początkowe napełnienia zbiornika, którego katastrofę rozpatrujemy, na poziomie MaxPP.

3.4. PRZEPUSTOWOŚĆ URZĄDZEŃ UPUSTOWYCH

„Zbyt mała przepustowość urządzeń upustowych może wynikać z faktu, że symulowane przepływy wezbraniowe przekraczają wartości maksymalne, na które były projektowane. Możliwa jest także awaria zamknięć lub mechanizmów wyciągowych. Awaria zamknięć może nastąpić przed rozpoczęciem wezbrania lub w jego trakcie. Zbyt mała przepustowość powoduje szybsze napełnienie zbiornika i przelanie wody przez koronę.” (RZGW w Krakowie, 2011).

Tworząc warianty katastrofy należy zakładać awarie urządzeń upustowych dla uwzględnienia sytuacji przelania wody przez koronę zapory. Symulacja awarii urządzeń upustowych zbiornika może odbywać się w sposób pośredni poprzez modyfikacje reguł sterowania zbiornikiem. Jeżeli fala hipotetyczna dla przepływu kontrolnego nie wywołuje przelania wody przez koronę zapory i tym samym procesem katastrofy, należy przeprowadzić zmianę reguł sterowania zmniejszając przepływ do 50% wielkości, a jeśli i ten zabieg nie powoduje katastrofy wówczas należy całkowicie ograniczyć odpływ ze zbiornika.

3.5. IDENTYFIKACJA MOŻLIWYCH WARIANTÓW KATASTROFY ZAPORY BETONOWEJ

„Katastrofa zapory spowodowana jest najczęściej przez wiele czynników. Dane o ponad 150 katastrofach, które wydarzyły się na świecie od początku XX wieku zostały opracowane przez ICOLD – Międzynarodowy Komitet Wielkich Zapór (Storożyńska K., 2000). Wynika z nich, że w przypadku zapór betonowych głównymi przyczynami katastrof są problemy związane z ich posadowieniem, a zwłaszcza erozja wewnętrzna podłoża (21%) i jego zbyt mała wytrzymałość na ścinanie (21%).

Czynnikami dodatkowymi wielu katastrof są awarie urządzeń upustowych lub zbyt mała ich przepustowość (22%). Przyczyny 20% awarii nie zostały rozpoznane.” (RZGW w Krakowie, 2011).

Opracowując warianty katastrofy dla zapory betonowej należy rozpatrywać uszkodzenie korpusu zapory i przelanie się wody przez koronę zapory uwzględniając opisane wyżej czynniki, tj.:

- warunki hydrologiczne w zlewni powyżej zbiornika;
- stan napełnienia zbiornika;
- uszkodzenie lub zbyt małą przepustowość urządzeń upustowych.

3.5.1. Uszkodzenie korpusu zapory

„Głównymi przyczynami katastrof zapór betonowych są problemy z ich posadowieniem, a w efekcie utrata stateczności powodująca przewrócenie, lub przesunięcie się części konstrukcji. Przez powstałą wyrwę następuje niekontrolowane opróżnianie zbiornika. Zniszczenie zapory następuje nagle na znacznej części doliny a w przypadku zapór łukowych często na całej szerokości doliny. Proces powstawania wyrwy trwa kilka minut.

Opracowując wariant katastrofy zapory betonowej składającej się z samodzielnych sekcji betonowych uszczelnionych na dylatacjach można brać pod uwagę przewrócenie się jednej lub kilku sekcji połączonych z ich przesunięciem w dół doliny. Prawdopodobny jest także wariant polegający na wypchnięciu części jednej lub kilku sekcji. Poziom uszkodzenia można przyjmować na poziomie największego osłabienia korpusu betonowego spowodowanego lokalizacją niezbędnych do pracy zapory komór konstrukcyjnych lub na granicy przerwy w betonowaniu spowodowanej warunkami zimowymi.

Czas rozpoczęcia uszkodzenia można połączyć z osiągnięciem maksymalnego doływu do zbiornika przez falę wezbraniową, maksymalnym poziomem wody w zbiorniku powstałym w wyniku wezbrania lub przelaniem wody przez koronę zapory. Czas powstawania wyrwy należy przyjmować od 5 do 10 minut.” (RZGW w Krakowie, 2011).

3.5.2. Przelanie wody przez koronę zapory

„Przelanie wody przez koronę zapory spowodowane jest najczęściej przez zjawiska naturalne jakimi są wezbrania, których wystąpienie może być ewentualnie połączone z awarią urządzeń upustowych zbiornika.

Przelanie wody przez koronę zapory może być także wywołane uszkodzeniem budowli piętrzącej w dolinie powyżej. W przypadku zabudowy kaskadowej zaleca się opracowanie wariantu katastrofy dla całej kaskady. W przypadku znacznego oddalenia obu budowli można stworzyć wariant katastrofy budowli zlokalizowanej poniżej uwzględniający hydrogram doływu do zbiornika spowodowany katastrofą budowli piętrzącej zlokalizowanej powyżej.

Przelanie wody przez koronę zapory betonowej może, ale nie musi być połączone z uszkodzeniem korpusu zapory. Opracowując warianty katastrofy, których celem jest wyznaczenie maksymalnej powierzchni zalania spowodowanej katastrofą zapory zaleca się tworzenie wariantu łączącego przelanie przez koronę z uszkodzeniem korpusu zapory.” (RZGW w Krakowie, 2011).

3.6. IDENTYFIKACJA MOŻLIWYCH WARIANTÓW KATASTROFY ZAPORY ZIEMNEJ

„W przypadku zapór ziemnych, do głównych przyczyn katastrof należą: przelanie wody nad koroną zapory oraz erozja wewnętrzna korpusu. Obie te przyczyny prowadzą na ogół do niekontrolowanego rozmywania gruntu korpusu zapory, którego przebieg i rozwój w czasie uzależniony jest od chwilowych warunków przepływu wody przez podlegający zniszczeniu przekrój korpusu zapory, w wyniku stopniowego samoczynnego opróżniania się zbiornika oraz od budowy i parametrów geotechnicznych gruntu stanowiącego korpus ziemny. W przypadku tego typu obiektów należy rozważyć niezależnie obie możliwości katastrofy.

Zestaw wariantów dla katastrofy zapory ziemnej powinien odnosić się do obu ww. głównych przyczyn katastrof i wynikać z analizy czynników mających bezpośredni wpływ na jej charakter, rozmiar i przebieg. Do czynników tych w przypadku zapór ziemnych zaliczyć należy, opisane w poprzednich rozdziałach:

- *warunki hydrologiczne w zlewni powyżej zbiornika przed katastrofą;*
- *stan napełnienia zbiornika przed katastrofą;*
- *przepustowość urządzeń upustowych;*

oraz opisany niżej

- *kształt, rozmiar i umiejscowienie wyrwy (określane w oparciu o powszechnie stosowane metody obliczeniowe oraz analizę budowy korpusu zapory).” (RZGW w Krakowie, 2011).*

Kształt, rozmiar i umiejscowienie wyrwy

„Określenie predysponowanego miejsca uszkodzenia korpusu zapory ziemnej wynikać powinno z rozpoznania budowy korpusu zapory, w tym lokalizacji w korpusie elementów takich jak przestony przeciwfiltracyjne, usytuowania bloku przelewowo-upustowego względem korpusu ziemnego oraz analizy geometrii nasypu (zmiany w geometrii podłużnej i poprzecznej mogą być miejscami potencjalnego osłabienia gruntu wbudowanego w nasyp w sytuacji wzrostu gradientu ciśnień filtracyjnych). Niezbędne na tym etapie jest dokonanie przeglądu istniejącej dokumentacji technicznej obiektu oraz zapoznanie się z wynikami technicznej jego kontroli.

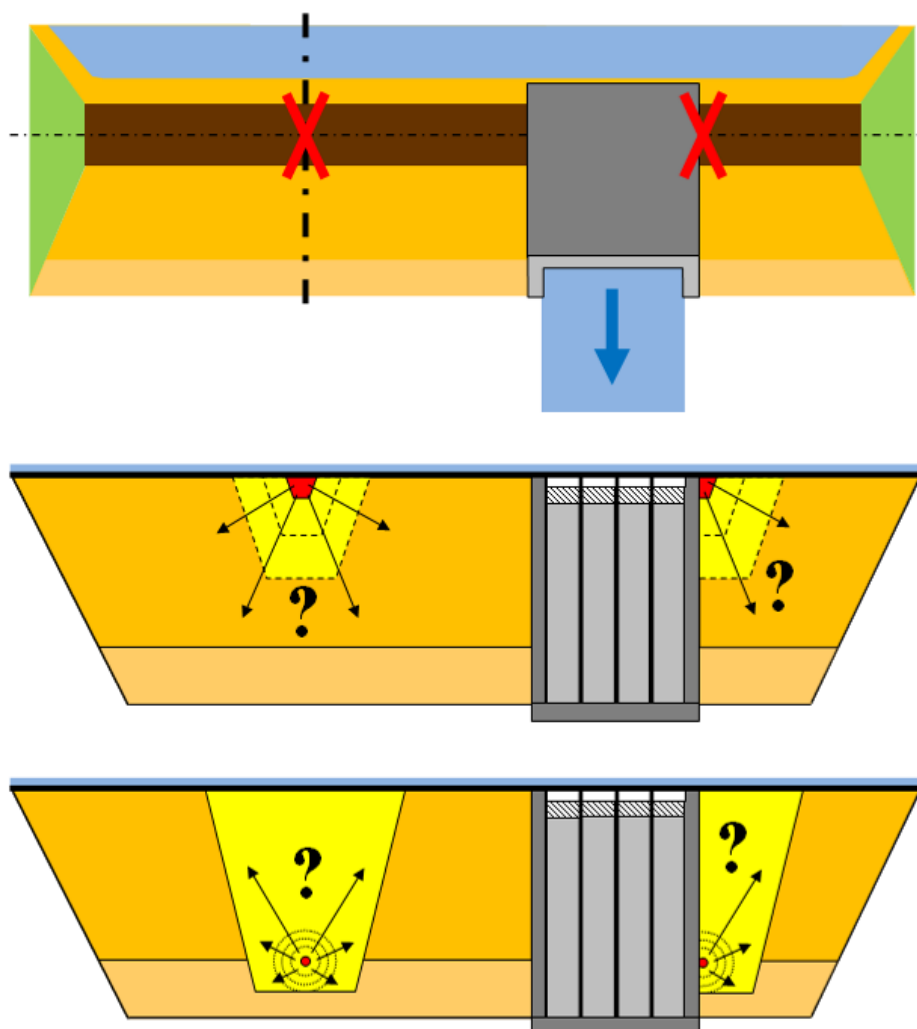
W przypadku wariantu katastrofy wskutek przelania wody przez koronę zapory, jako oś wyrwy powstałej wskutek rozmycia korpusu zaleca się przyjmować generalnie linię znajdującą się w połowie długości nasypu ziemnego. Dla obiektów ziemnych posiadających wbudowaną w nasyp sekcję przelewowo-upustową – rozdzielającą nasyp na dwa odcinki, oś wyrwy proponuje się przyjmować w środku długości prawo- lub lewostronnego nasypu. Decyzja o tym, która strona korpusu ziemnego może być bardziej narażona na rozmycie, powinna wynikać z rozpoznania budowy obiektu i dostępnej dla niego dokumentacji technicznej.

Ponadto, w przypadku występowania ewentualnych zanizeń w rzędnych korony korpusu zapory, miejsca takie należy traktować również jako miejsca newralgiczne, w których w pierwszej kolejności może dojść do przelania i rozmycia.

Niezależnie od powyższego, dla każdego obiektu ziemnego, posiadającego wbudowane w korpus elementy takie jak np.: sekcje przelewowo-upustowe, bloki przelewowe, lub inne konstrukcje betonowe lub żelbetowe posiadające ściany stykające się bezpośrednio z nasypem, należy rozważyć

potencjalną lokalizację miejsca uszkodzeń (powstania wyrwy) również na styku tych elementów. W takim przypadku listę możliwych wariantów katastrof rozszerzyć można o warianty obejmujące np. równoczesne uszkodzenie nasypu w miejscu jego styku z sekcją przelewowo-upustową oraz w jego części centralnej.

Dla wariantów polegających na katastrofie zapory na skutek przebicia hydraulicznego, skutkującego sufozją gruntu i w konsekwencji (na ogół) również utworzeniem się wyrwy, jako punkt początkowy zjawiska (punkt przebicia) zaleca się zakładać podobnie jak w przypadku katastrof spowodowanych przelaniem, miejsca leżące w osi poprzecznej korpusu ziemnego (bądź jednej z jego stron w przypadku rozdzielenia nasypu blokiem przelewowo-upustowym) lub miejsca znajdujące się na styku sekcji betonowych z gruntem nasypu. W układzie wysokościowym, rzędną punktu przebicia należy przyjmować w linii krawędzi podstawy skarpy odpowietrznej zapory lub w dnie rowu zbierającego wody z przesiązków. W uzasadnionych przypadkach powinno się rozważyć uwzględnienie dodatkowych poziomów wysokościowych przebicia, a także dodatkowych lokalizacji miejsc ewentualnego uszkodzenia w układzie poziomym obiektu. Dotyczy to miejsc zmiany geometrii nasypu (np. ławeczka skarpy odpowietrznej) oraz innych miejsc newralgicznych, wynikających z dokumentacji technicznej dla korpusu zapory czy też obserwacji przesiązków przez korpus – rejestrowanych przez aparaturę kontrolno-pomiarową znajdującą się na obiekcie (galeria kontrolno-zastrzykowa).” (RZGW w Krakowie, 2011).



Rysunek 1. Przykładowe lokalizacje miejsc powstania uszkodzeń korpusu zapory ziemnej w przypadku przelania wody przez koronę lub przebicia hydraulicznego i sufozji gruntu (RZGW w Krakowie, 2011)

„W obu przypadkach katastrof zaleca się przyjmować trapezowy lub prostokątny kształt wyrwy. Maksymalną możliwą szerokość wyrwy należy wyznaczyć w oparciu o powszechnie stosowane w literaturze formuły empiryczne, bazujące na analizach historycznych katastrof zapór ziemnych (np. Froehlich, MacDonald & Langridge-Monopolis, Von Thun & Gillette, itp.)” (RZGW w Krakowie, 2011).

Zaleca się przyjmowanie maksymalnej możliwej szerokości wyrwy w oparciu o uśrednienie wyników formuł.

„Dynamikę procesów prowadzących do przebicia hydraulicznego i sufozji gruntu, jak również tempo powiększania się przekroju wyrwy w korpusie zapory – powstałej w wyniku przelania wody przez koronę i stopniowego rozmywania korpusu lub wskutek przebicia hydraulicznego – wyznaczyć można w drodze obliczeń modelowych opartych na zaimplementowanych w modelach

hydrodynamicznych formułach erozyjnych (np. formuła Engelund-Hansena” w module Dambreak z modelu MIKE 11), „które opierają się na podstawowych parametrach geotechnicznych gruntu, takich jak np.: średnica ziaren, ciężar właściwy, porowatość, wytrzymałość na ścinanie, itp.” (RZGW w Krakowie, 2011).

„W przypadku obu podstawowych typów katastrof (tj. przebicia oraz przelania przez koronę) zaleca się wprowadzać w profilu zapory tzw. przekrój ograniczający, który pozwala na limitację maksymalnego rozmiaru wyrwy. Linię dna takiego przekroju powinno się przyjmować na poziomie podstawy nasypu ziemnego zapory lub np. na granicy warstw stanowiących podłoże skalne pod zaporą. Boczne ograniczenie przekroju powinny stanowić naturalne zbocza doliny, w którą wbudowany jest korpus zapory, lub np. ściany bloków sekcji przelewowo-upustowych.” (RZGW w Krakowie, 2011).

3.7. LICZBA ANALIZOWANYCH WARIANTÓW

„Zestaw wariantów katastrofy zapory może obejmować teoretycznie nieograniczoną wręcz liczbę wariantów, będących wynikiem kombinacji wielu różnych czynników wyjściowych jak napełnienie początkowe zbiornika, warunki hydrologiczne w zlewni czy bezpośrednia przyczyna katastrofy i związane z nią lokalizacja i parametry punktu przebicia lub wyrwy.” (RZGW w Krakowie, 2011).

Ze względów praktycznych zakłada się opracowanie dla każdego z obiektów dwóch wariantów katastrofy, gdzie wariantowaniu podlega bezpośrednia przyczyna katastrofy. Dla zbiorników w kaskadzie przy analizie wariantów uszkodzenia lub zniszczenia zbiornika górnego analizuje się również zniszczenie lub uszkodzenie zbiornika dolnego, przyjmując podobne warianty awarii jak dla zbiornika górnego, ale bez zakładania ograniczenia możliwości urządzeń upustowych. Zasady budowy wariantów zestawiono poniżej.

Parametry wariantów dla pojedynczego zbiornika:

- warunki hydrologiczne:
 - górny warunek brzegowy – fala hipotetyczna wg Strupczewskiego dla $Q_{kontrolne}$ z IGW;
 - dopływy boczne – jak w scenariuszu $Q_{0,2\%}$ dla rzek (relacje czasowe występowania kulminacji jak dla scenariusza 0,2%);
 - w przypadku konieczności uwzględnienia odbiornika cieków, na którym znajduje się analizowany zbiornik – możliwe jest przyjęcie warunków brzegowych dla odbiornika jak dla scenariusza 10% przy uwzględnieniu zalecenia zachowania spójności warunków brzegowych dla różnych zbiorników na jednym odcinku rzeki (możliwość ta ma na celu uniknięcie nadmiernego wydłużenia zasięgów katastrofy na obwałowanych odcinkach cieków, dla których scenariusz $Q_{0,2\%}$, wyznaczony w oparciu o model ruchu ustalonego, skutkuje maksymalnymi rzędnymi bliskimi rzędnym korony wałów);
- napełnienie początkowe zbiornika: MaxPP;

- charakterystyki urządzeń upustowych: awaria (ograniczenie możliwości upustowych, tak aby uzyskać przelanie);
- bezpośrednia przyczyna katastrofy:
 - wariant 1 – przelanie przez koronę zapory (zapory ziemne) / uszkodzenie pojedynczej sekcji korpusu zapory (zapory betonowe);
 - wariant 2 – przebicie hydrauliczne (zapory ziemne) / uszkodzenie kilku sekcji korpusu zapory (zapory betonowe).

Dla zapory ziemnej, w przypadku, gdy z uwagi na parametry techniczne zapory i zbiornika, nie jest możliwe przelanie się wody przez koronę zapory rozpatrywany jest tylko wariant przebicia hydraulicznego korpusu zapory. Sytuacja taka może wystąpić, gdy rzędna korony zapory czołowej jest w istotny sposób wyższa od rzędnej korony zapór bocznych zbiornika¹ lub gdy zbiornik lub zapora posiadają przelew stały niesterowany o wydatku przekraczającym przepływ maksymalny dla fali kontrolnej².

Zbiorniki w kaskadzie – uszkodzenie lub zniszczenie zbiornika górnego:

- górny zbiornik – 2 warianty jak w przypadku pojedynczego zbiornika;
- dolny zbiornik – 1 lub 2 warianty zakładające zniszczenie lub uszkodzenie zapory według poniższych założeń:
 - górny warunek brzegowy – odpływ ze zbiornika górnego;
 - pozostałe warunki hydrologiczne jak dla pojedynczego zbiornika;
 - napełnienie początkowe – MaxPP lub NPP, w zależności od oceny struktury zasilania zbiorników w kaskadach i reguł sterowania obiektami (w sytuacji, gdy dolny zbiornik jest zasilany znaczącymi dopływami i/lub IGW uwzględnia wcześniejsze odtwarzanie rezerwy powodziowej na zbiorniku dolnym zaleca się przyjmowanie NPP, w pozostałych MaxPP);
 - charakterystyki urządzeń upustowych – nominalne (sprawne urządzenia);
 - bezpośrednia przyczyna katastrofy:
 - wariant 1 – przelanie przez koronę zapory (zapory ziemne) / uszkodzenie pojedynczej sekcji korpusu zapory (zapory betonowe);
 - wariant 2 – brak (zapory ziemne) / uszkodzenie korpusu zapory (zapory betonowe); wariant przebicia na zbiorniku dolnym nie jest rozpatrywany z uwagi na fakt, że przedmiotem analizy jest tu katastrofa zbiornika górnego. Rozpatrywane w wariant 1 przelanie wody przez koronę zapory zbiornika dolnego jest nieuchronną konsekwencją katastrofy zbiornika górnego podczas gdy szansa na zaistnienie jednocześnie warunków dla 2

¹ Np. zbiorniki Dębe i Koronowo

² Np. zbiornik Otmuchów

przebić w zbiornikach kaskady w ramach tego samego zdarzenia jest znikoma;

- kaskada – 2 - 4 warianty jak wyżej.

Zbiorniki w kaskadzie – uszkodzenie lub zniszczenie zbiornika dolnego:

- scenariusz dla zbiornika dolnego jak dla pojedynczego zbiornika bez rozpatrywania zbiornika górnego.

Jeżeli na jednym cieku znajduje się więcej niż jeden zbiornik, ale odległość między zbiornikami jest znaczna, nie są one traktowane jako kaskada. W tym przypadku przy symulacji katastrofy zbiornika górnego zakłada się na zbiorniku dolnym napełnienia początkowe na poziomie NPP i sprawne urządzenia upustowe. Katastrofę zbiornika dolnego w jednym wariantcie, tj. przelanie, rozpatruje się tylko w przypadku, gdy fala będąca skutkiem katastrofy zbiornika górnego prowadzi do przelania zbiornika dolnego.

Dla zbiorników wyrównawczych nie zakłada się wariantów awarii. Dla tych zbiorników uwzględnia się tylko przelanie wody przez koronę zapory bez modelowania awarii.

„Po przeprowadzeniu obliczeń modelowych i analizie porównawczej uzyskanych wyników, dokonuje się wyboru wariantu najbardziej niekorzystnego z punktu widzenia zasięgu maksymalnego zalewu, który stanowić będzie podstawę do opracowania obszarów zagrożenia powodziowego i w konsekwencji map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego w dolinie poniżej zapory.” (RZGW w Krakowie, 2011). Kryterium wyboru jest powierzchnia OZP. Jako podstawę dla scenariusza zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących wybieramy wariant skutkujący największą powierzchnią OZP.

4. DANE WEJŚCIOWE DO MZP I MRP

Na potrzeby opracowania MZP i MRP zaleca się, aby nie stosować danych starszych niż kilka lat, bez ich wcześniejszej weryfikacji, a także sprawdzających pomiarów kontrolnych. Każde wezbranie może powodować zmiany przebiegu rzeki oraz kształtu jej koryta. Należy też sprawdzić jak w ostatnim czasie zmieniła się zabudowa doliny, infrastruktura drogowa, a także czy wybudowano nowe lub zmodernizowano istniejące wały przeciwpowodziowe. Poniżej w rozdz. 4.1 - 4.4 opisano wymogi dotyczące kluczowych danych wejściowych do opracowania MZP, natomiast w rozdz. 4.5 zestawiono wszystkie dane wejściowe potrzebne do opracowania MZP i MRP wraz z informacją na temat instytucji będących źródłem tych danych i formatów w jakich występują.

4.1. DANE GEODEZYJNE

4.1.1. Przekroje poprzeczne (dolinowe)

Przekroje dolinowe powinny obejmować swoim zasięgiem całą dolinę cieku, tzn. koryto rzeki (przekrój korytowy) oraz obie terasy zalewowe (lewą i prawą) – przekrój przez terasy. Część pomiaru dotyczącą koryta cieku należy wykonać bezpośrednio w terenie (typowy przekrój korytowy), a część przekroju dolinowego obejmującą terasy zalewowe – w oparciu o najnowszy dostępny numeryczny model terenu (NMT).

Przy opracowywaniu MZP dla scenariusza zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących wykorzystuje się materiały z opracowania MZP dla cieku, na którym zlokalizowana jest analizowana budowla piętrząca.

W przypadku opracowywania lub wydłużania przekrojów dolinowych należy wziąć pod uwagę wymogi Metodyki opracowania MZP i MRP w II cyklu planistycznym (dla powodzi rzecznych).

4.1.2. Obiekty inżynierskie

Na potrzeby budowy modelu hydraulicznego konieczna jest inwentaryzacja obiektów inżynierskich znajdujących się na ciekach objętych opracowaniem, tj.:

- obiektów mostowych (w tym mostów i kładek);
- obiektów hydrotechnicznych (w tym zapór, jazów i stopni).

Przy opracowywaniu MZP dla scenariusza zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących wykorzystuje się materiały z opracowania MZP dla cieku, na którym zlokalizowana jest analizowana budowla piętrząca.

W przypadku przeprowadzania dodatkowej inwentaryzacji obiektów inżynierskich należy wziąć pod uwagę wymogi Metodyki opracowania MZP i MRP w II cyklu planistycznym (dla powodzi rzecznych).

4.1.3. Wały przeciwpowodziowe

Na potrzeby budowy modelu hydraulicznego konieczna jest inwentaryzacja geodezyjna wałów przeciwpowodziowych znajdujących się na ciekach objętych opracowaniem. Przy opracowywaniu MZP dla scenariusza zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących wykorzystuje się materiały z opracowania MZP dla cieku, na którym zlokalizowana jest analizowana budowla piętrząca.

W przypadku przeprowadzania dodatkowej inwentaryzacji obiektów inżynierskich należy wziąć pod uwagę wymogi Metodyki opracowania MZP i MRP w II cyklu planistycznym (dla powodzi rzecznych).

4.2. DANE O BUDOWLACH PIĘTRZĄCYCH, OBJĘTYCH OPRACOWANIEM MAP

Informacje dotyczące budowli piętrzącej zbierane są pod kątem opracowania prawdopodobnych wariantów katastrofy oraz pozyskania danych umożliwiających ich symulację. Zestaw niezbędnych danych uzależniony jest od zastosowanego oprogramowania oraz przyjętych w nim założeń uogólniających w zakresie odwzorowania obiektu.

W każdym przypadku należy zebrać dane o lokalizacji budowli piętrzącej, jej konstrukcji, urządzeniach upustowych oraz podłożu, na którym jest posadowiona. Dla wszystkich typów zapór (ziemne, betonowe) podstawowymi danymi dotyczącymi korpusu są długość, najniższa rzędna posadowienia, rzędna korony, szerokość korony i jej kształt. W przypadku zapory betonowej danymi dodatkowymi są ilość i wielkość sekcji betonowych, a w przypadku zapór ziemnych parametry gruntu, z którego został wykonany korpus, parametry i rodzaj uszczelnienia korpusu i ubezpieczenia skarp, a także ich nachylenia. Wymaganymi danymi dotyczącymi urządzeń upustowych jest ich kształt, lokalizacja w korpusie zapory oraz przede wszystkim krzywe wydatków, uzależnione od poziomu wody w zbiorniku oraz położenia zamknięć.

Dla opracowywania wariantów katastrofy cennych informacji dostarcza dokumentacja powykonawcza budowli. Przed opracowaniem wariantów warto także zapoznać się z ocenami stanu technicznego i stanu bezpieczeństwa budowli, a także z wynikami zrealizowanych badań, zalecanych do wykonania w ramach przeprowadzanych ocen.

Bardzo ważnym elementem opracowywanego modelu hydrodynamicznego jest model zbiornika, który w wyniku katastrofy zostaje opróżniony. Najlepszym źródłem informacji o geometrii zbiornika są wyniki pomiarów batymetrycznych. Niezbędne jest pozyskanie krzywej pojemności zbiornika – tj. zależności pomiędzy pojemnością a rzędną zwierciadła wody w zbiorniku – umożliwiającej dokonanie szczegółowej kalibracji pojemności zbiornika. Do przygotowania wariantów katastrof potrzebne są także charakterystyczne poziomy piętrzenia i odpowiadające im pojemności zbiornika.

Symulacja pracy zbiornika, wymaga określenia reguł sterowania odpływem ze zbiornika stąd należy pozyskać dane definiujące te reguły, umożliwiające zapisanie ich w modelu hydrodynamicznym. Reguły sterowania uzależniają wielkość odpływu ze zbiornika od takich parametrów jak: dopływ do zbiornika, aktualne położenie zwierciadła wody oraz warunki eksploatacji (eksploatacja w okresie niżówek, normalna eksploatacja, pogotowie powodziowe, eksploatacja powodziowa).

W przypadku, gdy w dolinie poniżej znajduje się inny zbiornik należy pozyskać analogiczne dane dla tego zbiornika. Wyniki symulacji katastrofy muszą rozstrzygnąć czy zbiornik położony poniżej jest w stanie bezpiecznie przejść falę wezbraniową powstałą w wyniku katastrofy budowli piętrzącej położonej powyżej czy też ulegnie katastrofie.

Wszystkie niezbędne dane dotyczące budowli piętrzących i zbiorników są w posiadaniu administratorów lub właścicieli tych obiektów. Można również wykorzystać materiały z opracowania MZP dla ciek, na którym zlokalizowana jest analizowana budowla piętrząca.

4.3. DANE HYDROLOGICZNE I METEOROLOGICZNE

Dane hydrologiczne są niezbędne do kalibracji i weryfikacji opracowanych modeli hydrodynamicznych oraz sformułowania warunków brzegowych.

Zakres zgromadzonych danych zależy od tego czy pozyskiwane są „surowe” dane hydrologiczne i obliczenia wykonywane są przez autorów opracowania, czy wykorzystywane są obliczenia wykonane przez innych specjalistów np. materiały z opracowania MZP dla ciek, na którym zlokalizowana jest analizowana budowla piętrząca. W przypadku opracowywania danych źródłowych należy pozyskać dane umożliwiające wyznaczenie charakterystyk opisanych poniżej.

Do kalibracji i weryfikacji modelu potrzebne są hydrogramy stanów i przepływów dla co najmniej dwóch wezbrań historycznych. Kalibracji i weryfikacji modelu dokonuje się na wskazania wodowskazów zlokalizowanych na modelowanym cieku. Do prawidłowego określenia warunków brzegowych, dla tych samych wezbrań historycznych, potrzebne są hydrogramy stanów i przepływów dla pozostałych wodowskazów zlokalizowanych w dolinie. W przypadku braku wodowskazu zamykającego modelowany odcinek rzeki tworzony jest model sieci rzecznej składającej się z modelowanej rzeki i recipienta ograniczonego posterunkami wodowskazowymi znajdującymi się powyżej i poniżej ujścia do odbiornika modelowanej rzeki. Dla tych wodowskazów potrzebne są także hydrogramy stanów i przepływów dla ww. wezbrań.

Prawidłowo zidentyfikowany i zweryfikowany model umożliwia przeprowadzenie obliczeń realizujących opracowane warianty katastrofy. Najbardziej prawdopodobnymi warunkami nastąpienia katastrofy jest praca budowli podczas ekstremalnego wezbrania powodziowego. Dlatego potrzebne są także hipotetyczne hydrogramy przepływów obliczane dla przepływów o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia. Przy wyborze fali hipotetycznej należy kierować się wymaganiami zaistnienia warunków dla wystąpienia zjawisk przebiccia hydraulicznego lub rozmycia zapory na skutek przelania się wody przez koronę zapory (pkt. 0). Przy wyborze metody należy się kierować wskazówkami zawartymi w opracowaniu SHP „Aktualizacja metodyki obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ” (2017). Raport z wykonania MZP i MRP dla przypadku uszkodzenia lub zniszczenia zapory powinien zawierać informację jaką metodę zastosowano dla konkretnego zbiornika.

Dopływ z rzek kontrolowanych (posiadających wodowskazy) uwzględniany jest w modelu jako dopływ punktowy. Wymaga to obliczenia hydrogramu przepływu w miejscu dopływu do modelowanej rzeki. Zasilanie ze strony rzek nie objętych monitoringiem wodowskazowym, uwzględniane jest jako dopływ ze zlewni różnicowych rozłożony wzdłuż analizowanych segmentów rzeki głównej w wyniku zastosowania metod: interpolacyjnej lub ekstrapolacyjnej, w zależności od dostępnych danych hydrologicznych. Do wyznaczenia dopływów, o których mowa wyżej, niezbędne jest pozyskanie danych o powierzchni zlewni w charakterystycznych punktach doliny. Opracowanie modelu zbiornika wymaga pozyskania informacji o wszystkich dopływach zasilających zbiornik.

Przy opracowywaniu danych hydrologicznych można wykorzystać materiały z opracowania MZP dla ciek, na którym zlokalizowana jest analizowana budowla piętrząca.

W przypadku ich opracowania danych należy wziąć pod uwagę wymogi Metodyki opracowania MZP i MRP w II cyklu planistycznym (dla powodzi rzecznych).³ Wg ww. metodyki obliczenia hydrologiczne przeprowadza się na podstawie danych wejściowych pozyskanych z IMGW-PIB, które obejmują:

- dobowe sumy opadu z ostatnich 30 lat ze stacji położonych w rejonie analizowanej zlewni;
- hietogramy opadów historycznych, które wywołały dwa największe wezbrania w ostatnich 30 latach z dostępnym krokiem czasowym (godzina, doba);
- przepływy maksymalne roczne z minimum 30 lat dla stacji wodowskazowych na ciekach, dla których będą opracowane MZP i MRP;
- hydrogramy przepływów i stanów wody oraz krzywe natężenia przepływu dla co najmniej 2 największych wezbrań, które wystąpiły w ostatnich 30 latach – na potrzeby kalibracji i weryfikacji modelu.

Dane hydrologiczne niezbędne do modelowania przepływu w korytach i na terenach zalewowych dla wszystkich typów modelowania hydraulicznego zawierają dla zlewni kontrolowanych:

- charakterystyki hydrologiczne stacji wodowskazowych (nazwa rzeki, nazwa stacji wodowskazowej, kilometraż, powierzchnia zlewni, rzędna zera wodowskazu) i ich współrzędne geograficzne;
- wartości przepływów o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia dla przyjętych scenariuszy powodziowych obliczonych dla stacji wodowskazowych;
- koincydencję przepływów maksymalnych na rzece głównej i jej dopływach;
- krzywe przepływu Q/H dla stacji wodowskazowych dla dwóch największych wezbrań z ostatnich 30 lat;
- hydrogramy przepływów dla wybranych dwóch historycznych największych wezbrań;
- hydrogramy przepływów fal hipotetycznych.

W przypadku zlewni niekontrolowanych dane hydrologiczne obejmują:

- przepływy maksymalne dla zadanych prawdopodobieństw przewyższenia;
- fale hipotetyczne dla zadanych prawdopodobieństw przewyższenia.

³ Dla trzech z 26 zbiorników, których dotyczy niniejsza metodyka (tj. dla zbiorników Besko, Chańcza i Świnna Poręba) zasięgi zalewów powodziowych zostały wyznaczone zanim powstała Metodyka opracowania MZP i MRP w II cyklu planistycznym (dla powodzi rzecznych).

4.4. NUMERYCZNE DANE WYSOKOŚCIOWE

4.4.1. Numeryczny model terenu (NMT)

Jedną z podstawowych danych niezbędnych dla opracowania MZP jest numeryczny model terenu (NMT). Numeryczny model terenu jest jednym z kluczowych elementów wykorzystywanych na etapie opracowywania modelu hydrodynamicznego doliny poniżej zbiornika zaporowego, a także pozwala na usprawnienie procesu związanego z generowaniem rozkładu głębokości na obszarach zalanych skracając znacznie czas opracowania map. Umożliwia on również opracowanie przekrojów dolinowych modeli jednowymiarowych. Należy pamiętać, iż w trakcie prowadzonych czynności mających na celu przygotowanie numerycznego modelu terenu dla potrzeb jego wykorzystania przy pracach związanych z analizą zjawiska katastrofy zapory oraz transformacji fali powodziowej w dolinie poniżej, należy go uszczegółowić wprowadzając wyniki pomiarów geodezyjnych obiektów liniowych (takich jak obwałowania lub nasypy drogowe) lub kubaturowych, które mogą istotnie wpływać na zasięg i prędkość fali. Numeryczny model terenu może być wyrażony informacją w formie siatki regularnej – stałej siatki przestrzennej (np. GRID).

NMT stanowi element państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. Gromadzenie i prowadzenie państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego oraz udostępnianie danych należy do Głównego Geodety Kraju. NMT zapisany jest w formie plików tekstowych zawierających współrzędne (X, Y w układzie PL-1992; Z w układzie Kronsztadt 86) punktów w regularnej siatce o interwale przestrzennym 1 metra, jak również w postaci rastra o takiej samej rozdzielczości przestrzennej. Informacje o rzędnych terenu zostały interpolowane na podstawie chmury punktów otrzymanych z lotniczego skaningu lotniczego (LIDAR). Maksymalny błąd średni wysokości wynosi 0,2 m. Poszczególne pliki danych NMT odpowiadają swym zasięgiem arkuszom w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „1992” w skali 1:5 000.

Dla obszarów miejskich średnia gęstość pomiarów wynosi 12 punktów/m² (standard II). Zasięg obszarowy pojedynczych plików NMT opracowanych na podstawie chmury punktów z LIDARu odpowiada przestrzennie arkuszom w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PUWG 1992 w skali 1:1 250 (obszar 0,5 × 0,5 km). W przypadku pozostałego obszaru średnia gęstość wynosi 4 lub 6 punktów/m² (standard I), w tym samym układzie współrzędnych, lecz w skali 1:2 500 – obszar dla pojedynczego arkusza ok. 1 × 1 km.

4.4.2. Numeryczny model pokrycia terenu (NMPT)

Numeryczny model pokrycia terenu (NMPT), podobnie jak NMT, jest wynikiem przetworzenia chmury punktów pomiarowych pozyskanych z lotniczego skaningu laserowego. Średni błąd wysokości dla danych uwarunkowany jest standardem, w jakim został wykonany materiał wejściowy, przy czym wartość maksymalna błędów zawiera się w przedziale do 0,2 m. Poszczególne pliki NMPT odpowiadają swoim zasięgiem arkuszom w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „1992” w skali 1:5 000. Wybrane fragmenty NMPT wykorzystuje się w modelowaniu 2D do aktualizacji NMT w zakresie uzyskania rzeczywistych wysokości budynków.

4.5. WYKAZ DANYCH DO OPRACOWANIA MZP i MRP

Oprócz danych kluczowych opisanych w rozdziałach 4.1 – 4.4 do opracowania MZP i MRP konieczne jest również pozyskanie szeregu danych dodatkowych. Zawarte w poniższych tabelach pełne zestawienie koniecznych danych zawiera obie te kategorie (kluczowe i dodatkowe). Dane do opracowania map zagrożenia powodziowego zestawiono w Tabela 1, natomiast dane do opracowania map ryzyka powodziowego zestawiono w Tabela 2.

Tabela 1. Zestawienie danych wejściowych niezbędnych do opracowania MZP

Lp.	Dane	Nazwa instytucji/Zasobu	Format	Aktualność danych
1	Ortofotomapy (wielkość terenowa piksela: 0,5 m; 0,25 m, 0,1 m)	Główny Urząd Geodezji i Kartografii	tif	2010-2018
2	Państwowy rejestr granic i powierzchni jednostek podziałów terytorialnych kraju (PRG)		shp	2018
3	Państwowy rejestr nazw geograficznych (PRNG)		shp	2018
4	Baza danych obiektów topograficznych BDOT10k		shp	2018
5	Numeryczny model terenu (NMT) oraz numeryczny model pokrycia terenu (NMPT)		xyz, asc, tif, las, TIN	2010-2018
6	Skorowidz map 1:10 000		shp	nd
7	Dane hydrologiczne i meteorologiczne	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy	docx, xlsx, pdf, tif, jpg i inne	1956-2016 (większość stacji)
8	Modele hydrauliczne opracowane dla powodzi rzecznych dla rzek, na których znajdują się zbiorniki	Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie		
9	Mapa Podziału Hydrograficznego Polski MPHP10k			
10	Aktualne instrukcje gospodarowania wodą na zbiornikach		docx, xlsx, pdf, tif, jpg i inne	
11	Dokumentacja projektowa/poprojektowa zbiorników		docx, xlsx, pdf, tif, jpg i inne	
12	Dane dotyczące wałów przeciwpowodziowych			
13	Poprzeczne przekroje korytowe rzek i budowli inżynierskich (Dane geodezyjne – bezpośredni pomiar w terenie)	Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie	shp, xlsx, jpg i inne	2018

Tabela 2. Zestawienie danych niezbędnych do opracowania MRP

Lp.	Dane	Nazwa instytucji/Zasobu	Format	Aktualność danych
1	Liczba mieszkańców	GUS/ System identyfikacji adresowej ulic, nieruchomości, budynków i mieszkań (NOBC) GUS/ Baza Danych Lokalnych	xlsx, txt, docx, shp, pdf xlsx	2018 2018
2	Punkty adresowe	GUGiK/Geoportal/Usługi słownikowe	xml	2018
3	Budynki mieszkalne i obiekty o szczególnym znaczeniu społecznym (szpitale, szkoły, przedszkola, żłobki, hotele, centra handlowo-usługowe, domy pomocy społecznej, domy opieki, hospicja, zakłady karne, zakłady poprawcze, areszty śledcze, jednostki policji, jednostki ochrony przeciwpożarowej, jednostki straży granicznej)	GUGiK/zasób BDOT10k	shp	2018
4	Domy pomocy społecznej, placówki opieki całodobowej	UW	shp, xlsx, docx	2018
5	Hospicja	NFZ	xlsx	2018
6	Zakłady karne, areszty śledcze	CZSW	xlsx	2018
7	Zakłady poprawcze	MS	xlsx	2018
8	Ujęcia wód podziemnych	PIG PIB PGW WP (Identyfikacja presji ¹)	xlsx, shp	2019 2018
9	Ujęcia wody powierzchniowej	GUGiK/zasób BDOT10k PGW WP (Identyfikacja presji)	shp shp	2018 2018
10	Strefy ochronne ujęć wód	PGW WP	shp	2018
11	Kąpieliska	PIS-GIS	shp	2018
12	Granice obszarów Natura 2000, w tym granice obszarów specjalnej ochrony ptaków oraz specjalnych obszarów ochrony siedlisk	GDOŚ	shp	2018
13	Granice parków narodowych	GDOŚ	shp	2018
14	Granice rezerwatów przyrody	GDOŚ	shp	2018
15	Zabytki nieruchome	NID	shp	2018
16	Obiekty wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO	NID	shp	2018
17	Pomniki zagłady	Ustawa, rozporządzenia MKiDN	pdf	2019
18	Skanseny i muzea wpisane do Państwowego Rejestru Muzeów	MKiDN	xlsx	2018
19	Biblioteki tworzące narodowy zasób biblioteczny	Rozporządzenie MKiDN	pdf	2019
20	Archiwa tworzące narodowy zasób archiwalny	MKiDN	pdf	2018
21	Ogrody zoologiczne	GUGiK/zasób BDOT10k	shp	2018
22	Zakłady przemysłowe	GUGiK /BDOT10k PGW WP (Identyfikacja presji)	shp shp	2018 2018
23	Zakłady przemysłowe o dużym i zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej	GIOŚ WIOŚ KG PSP	xlsx xlsx, docx, pdf, rtf pdf	2018 2018 2018
24	Instalacje IPPC (rejestr instalacji posiadających pozwolenia zintegrowane)	rejestr instalacji posiadających pozwolenia zintegrowane	xlsx	2018
25	Cmentarze	GUGiK/zasób BDOT10k	shp	2018
26	Składowiska odpadów	GUGiK/zasób BDOT10k	shp	2018



Lp.	Dane	Nazwa instytucji/Zasobu	Format	Aktualność danych
		PGW WP (Identyfikacja presji) WIOŚ	shp shp, xlsx, mdb, docx, pdf	2018 2018
27	Oczyszczalnie ścieków	WIOŚ PGW WP (Identyfikacja presji) GUGiK/zasób BDOT10k	shp, xlsx, pdf shp shp	2018 2018 2018
28	Przepompownie ścieków	GUGiK/zasób BDOT10k	shp	2018
29	Straty powodziowe	Konsorcjum IMGW- PIB/ARCADIS/MGGP	shp	2019
30	Miejscowości	GUGiK/zasób BDOT10k	shp	2018
31	Użytkowanie terenu	GUGiK/zasób BDOT10k	shp	2018

¹ Identyfikacja presji w regionach wodnych i na obszarach dorzeczy, 2018 (praca zrealizowana na zlecenie PGW WP)

5. METODYKA OPRACOWANIA MZP

Rozporządzenie w sprawie opracowywania MZP i MRP (§ 9 ust. 1) określa, że obszary zagrożenia powodziowego (OZP) zdefiniowane jako obszary, o których mowa w art. 169 ust. 2 ustawy – Prawo wodne, w tym również pkt 3 lit. c) wyznacza się na podstawie rzędnych zwierciadła wody, uzyskanych w wyniku matematycznego modelowania hydraulicznego.

Podstawę metodyczną modelowania hydraulicznego stanowi Metodyka analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami zapór o wysokości $H \geq 15\text{m}$. Projekt PL0456 „Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących”. Wykonawca: RZGW w Krakowie, IMGW, Kraków, 2011. Fragmenty zaznaczone kursywą zaczerpnięte zostały z powyższej metodyki.

5.1. METODYKA MODELOWANIA HYDRAULICZNEGO

Analiza przebiegu zjawiska katastrofy zapory oraz transformacji fali wywołanej tym zjawiskiem w dolinie poniżej powinna opierać się na badaniach modelowych. Narzędzia hydroinformatyczne umożliwiają w relatywnie prosty sposób przeprowadzenie modelowania dla całego złożonego procesu związanego z przejściem fali powodziowej przez zbiornik, zniszczeniem zapory oraz transformacją w dolinie poniżej hydrogramu powstałego wskutek katastrofy. Modelowanie to stanowi podstawę do wyznaczenia obszarów zagrożenia powodziowego w dolinie poniżej obiektu i analizy skutków całego zjawiska.

„Z uwagi na kompleksowość i integralność obliczeń rozmycia korpusu zapory wskutek przelania wody przez koronę lub przebicia hydraulicznego z dalszymi obliczeniami transformacji fali w dolinie poniżej zapory – zaleca się wykonywać je najlepiej w jednym modelu hydrodynamicznym, obejmującym wszystkie aspekty procesu katastrofy zapory – począwszy od formowania się samego zjawiska, poprzez jego rozwój, aż po skutki katastrofy.” (RZGW w Krakowie, 2011). Rozwiązanie to powinno być stosowane w przypadku budowy modelu katastrofy „od zera”.

W przypadku dysponowania modelami dla scenariuszy podstawowych, należy je wykorzystać po odpowiednim dostosowaniu (uzupełnienie modelu zbiornika o Dambreak Structure, przedłużenie przekrojów poprzecznych, modyfikacja i/lub dołożenie terenów zalewowych, etc.). Prowadzenie obliczeń w oparciu o te modele może się odbywać z zachowaniem podziału analizowanego fragmentu sieci hydrograficznej na odcinki jak w scenariuszach podstawowych lub, po ich integracji, w ramach jednego modelu.

5.1.1. Model hydrodynamiczny katastrofy zapory

„Model hydrodynamiczny katastrofy zapory powinien umożliwiać odwzorowanie czaszy zbiornika i geometrii korpusu zapory, wprowadzenie reguł sterowania odpływem ze zbiornika (w przypadku obiektów ze sterowanymi zamknięciami) i, przede wszystkim, pozwalać na implementację przyjętych wariantów katastrofy, tj. umożliwiać zdefiniowanie w przekroju zaporowym struktury hydraulicznej typu „dambreak”, opisanej parametrami geometrycznymi, geotechnicznymi i czasowymi.” (RZGW w Krakowie, 2011).

5.1.1.1. Odzworowanie czaszy zbiornika i kształtu zapory

„Opis kształtu czaszy zbiornika wodnego zamkniętego korpusem zapory, dla której planowane jest przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych jej katastrofy, wykonuje się za pomocą modelu hydrodynamicznego.

Najlepszym źródłem przekrojów poprzecznych – pozwalającym na najbardziej dokładne oddanie kształtu czaszy zbiornika są pomiary batymetryczne. Metoda opisu czaszy zbiornika na podstawie batymetrii jest ponadto metodą pozwalającą na odzworowanie tzw. fali wstecznej powstającej w zbiorniku podczas nagłego wypływu wody przez wyrwę (zjawisko to dotyczy zwłaszcza obiektów o konstrukcji betonowej, których katastrofy mają zwykle przebieg bardzo szybki). Z tego też względu jest to metoda zalecana w pierwszej kolejności.

Im liczba przekrojów opisujących zbiornik jest większa, tym dokładniej odzworowany zostanie zbiornik. Przyjmuje się zachowanie odstępów między przekrojami rzędu około 500 m, przy czym przy wyznaczaniu lokalizacji przekrojów należy wziąć pod uwagę równocześnie konieczność odzworowania kształtu poziomego czaszy zbiornika, tj. np. ewentualnych, nagłych zmian szerokości zbiornika, zatok i rozgałęzień.

W przypadku braku aktualnych i reprezentatywnych pomiarów batymetrycznych istnieją sposoby pozwalające na odzworowanie w modelu hydraulicznym pojemności zbiornika za pomocą np. jednego punktu obliczeniowego (przekroju), w którym implementowana jest cała informacja o pojemności zbiornika w postaci krzywej pojemności (lub krzywej powierzchni zalewu).

Niezależnie od sposobu opisu geometrii czaszy zbiornika konieczne jest na dalszym etapie prac dokonanie szczegółowej kalibracji pojemności zbiornika. Kalibracja taka powinna być wynikiem iteracyjnych obliczeń na stałych wartościach przepływów (stały dopływ do zbiornika) i warunkuje ona prawidłową transformację fali powodziowej przez zbiornik. Jako wzorcową krzywą pojemności zbiornika należy przyjmować krzywą zawartą w aktualnie obowiązującej dla obiektu instrukcji gospodarowania wodą, lub – w przypadku istotnych zmian w pojemności zbiornika (np. zamulenie czaszy) – zaktualizowaną krzywą, wyznaczoną w oparciu o pomiary batymetryczne.

Obliczenia kalibracyjne należy wykonać przynajmniej dla charakterystycznych poziomów piętrzenia: NPP, MaxPP i dla poziomu odpowiadającego rzędnej korony zapory (sugeruje się wykonanie obliczeń kalibracyjnych dla poziomów napełnienia zbiornika co 1,0 m w strefie pojemności użytkowej i powodziowej). Maksymalne różnice w obliczonych poziomach zwierciadła wody w zbiorniku w stosunku do rzędnych rzeczywistych (krzywa pojemności zbiornika) nie powinny przekraczać 10 cm na każdym z poziomów.

Implementacja kształtu zapory, a zwłaszcza kształtu i rzędnych jej korony jest kolejnym, obligatoryjnym elementem budowy modelu hydraulicznego jej katastrofy. Czynność ta warunkuje możliwość uwzględniania w obliczeniach objętości wody przelewającej się przez koronę zapory, co ma szczególne znaczenie w wariantach tego właśnie rodzaju katastrofy. Może ona być przeprowadzona w różny sposób – w zależności od stosowanego rodzaju oprogramowania (modelu hydraulicznego). Najczęściej jednak implementacja kształtu zapory odbywa się w edytorze przekrojów poprzecznych lub bezpośrednio w module odpowiedzialnym za symulację katastrofy obiektu (na ogół jako przelew o szerokiej koronie).” (RZGW w Krakowie, 2011).

5.1.1.2. Reguły sterowania odpływem ze zbiornika

„Właściwe odwzorowanie zasad pracy zbiornika ma szczególne znaczenie w przypadku symulacji katastrofy zapory w warunkach powodziowych. Mamy wtedy do czynienia z dopływem do zbiornika fali powodziowej (hipotetycznej lub rzeczywistej) o określonej hydrogramem kubaturze i prawidłowa algorytmizacja reguł dysponowania odpływem w zależności od aktualnego dopływu i rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku nabiera istotnego znaczenia. W takich sytuacjach, objętość fali przechwycona przez zbiornik, która wynika wprost z przyjętych w tzw. instrukcji gospodarowania wodą na obiekcie zależności pomiędzy dopływem, rzędną wody na zbiorniku i odpływem, warunkuje w wielu przypadkach w ogóle zaistnienie samego zjawiska katastrofy obiektu. Dotyczy to zwłaszcza katastrofy powstałej w wyniku przelania się wody przez koronę zapory, która jak wynika z samego założenia może mieć miejsce tylko w przypadku osiągnięcia (i przekroczenia) przez lustro wody w zbiorniku rzędnej korony. Z kolei możliwość osiągnięcia takiej rzędnej uwarunkowana jest dwoma podstawowymi czynnikami: kubaturą i kształtem fali powodziowej oraz zapisanymi w instrukcji regułami sterowania odpływem ze zbiornika. Z tego też względu uwzględnienie tych ostatnich w modelu hydraulicznym stworzonym specjalnie na potrzeby analizy zjawiska katastrofy obiektu piętrzącego jest elementem nieodzownym. Ponadto dynamika pracy zbiornika, wynikająca z reguł zawartych w instrukcji, przekłada się bezpośrednio na zmiany w rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku, a te z kolei na gradient ciśnień filtracyjnych w korpusie, które warunkują proces tworzenia się i rozwoju zjawisk sufozyjnych.” (RZGW w Krakowie, 2011).

5.1.1.3. Model katastrofy zapory

„Dysponując zbudowanym modelem hydraulicznym, opartym na skalibrowanej aktualnej krzywej pojemności zbiornika i opisującym: czasę zbiornika, geometrię korpusu zapory oraz zasady gospodarki wodnej, należy przystąpić do implementacji modelu samej katastrofy. Bazą dla tego etapu prac jest przygotowany wcześniej zestaw wariantów. Przyjęte w poszczególnych wariantach założenia co do warunków hydrologicznych, stanu napełnienia zbiornika i parametrów symulowanych uszkodzeń zapory, a także innych – dodatkowych zmiennych, należy „przełożyć” na matematyczny język modelu i zaimplementować w strukturze obliczeniowej odpowiedzialnej za odwzorowanie katastrofy. Implementacja taka dokonywana jest w specjalnym module przeznaczonym do opisu zjawiska „dambreak”. Polega ona na wprowadzeniu parametrów obliczeniowych dotyczących:

- poziomu korony zapory i jej długości;
- uwzględnienia w obliczeniach tzw. przekroju ograniczającego maksymalny rozmiar uszkodzenia korpusu zapory;
- usytuowania uszkodzenia korpusu (usytuowania wyrwy – w przypadku zapory ziemnej lub uszkodzonej sekcji zapory – w przypadku zapory betonowej) względem zapory;
- geometrii uszkodzenia (maksymalna szerokość w dnie, docelowa rzędna dna, nachylenie ścian bocznych);
- współczynników oporów przy przepływie wody przez uszkodzoną część korpusu zapory;
- momentu lub warunków determinujących rozpoczęcie procesu katastrofy zapory (np. katastrofa w momencie osiągnięcia przez zbiornik określonego poziomu piętrzenia,

katastrofa w momencie pojawienia się w zbiorniku przepływu kulminacyjnego wywołanego falą powodziową, katastrofa w określonej chwili – data, godzina, minuty i sekundy);

- *sposobu opisu zjawiska formowania się i rozwoju przestrzennego uszkodzenia (np. seria czasowa – w przypadku uszkodzeń zapory betonowej, seria czasowa lub formuły erozyjne – w przypadku uszkodzeń zapory ziemnej);*
- *przyczyny inicjującej katastrofę (przelanie przez koronę, przebicie hydrauliczne);*
- *początkowego stanu napełnienia zbiornika przed katastrofą.*

W przypadku symulacji katastrofy zapory ziemnej przy zastosowaniu formuł erozyjnych konieczne jest również określenie podstawowych cech fizycznych i mechanicznych gruntu korpusu zapory. Do cech takich należą na ogół: średnica ziaren, ciężar właściwy, porowatość, wytrzymałość na ścinanie, a w przypadku katastrof spowodowanych przebiciem hydraulicznym, dodatkowo np. szorstkość ścian przewodu, który zapoczątkowuje proces sufozji.

Ponadto, z uwagi na konieczność zdefiniowania początkowych warunków brzegowych dla obliczeń formowania się wyrwy lub przewodu przebicia hydraulicznego w czasie, niezbędne jest określenie wyjściowych parametrów tych struktur, tj. początkowej szerokości i rzędnej dna wyrwy w korpusie zapory lub początkowej średnicy przewodu przebicia i jego rzędnej, czy również np. stosunku średnicy przewodu przebicia do miąższości warstwy gruntu korpusu nad nim zalegającej – jako warunku powstania wyrwy wskutek przebicia i sufozji. W tym miejscu należy zaznaczyć, że przy odwzorowaniu tego typu katastrof w obiektach ziemnych pomija się zwykle występowanie ubezpieczenia z płyt na skarpie odwodnej zapory, parapetów chroniących przed falowaniem na koronie zapory, czy innych trwałych ubezpieczeń, nie mających bezpośredniego wpływu na przebieg zjawisk zachodzących w gruncie korpusu.

Niektóre modele symulacyjne katastrofy zapory ziemnej pozwalają dodatkowo na określenie procentowej objętości gruntu zatrzymanego w profilu zapory wskutek nagłego zapadnięcia się gruntu wywołanego przebiciem i utworzenia się wyrwy.” (RZGW w Krakowie, 2011).

Ww. zjawiska przebicia hydraulicznego i powstawania wyrwy lub uszkodzenia sekcji w przypadku zapory betonowej, zasymulować można wykorzystując model Mike 11 z modułami CONTROL STRUCTURE (umożliwia symulacje reguł sterowania zbiornikiem) i DAMBREAK STRUCTURE (umożliwia symulację uszkodzenia/zniszczenia zapory).

Dla prawidłowego działania modułu katastrofy (dambreak) odwzorowanego w modelu hydraulicznym konieczne jest zadbanie o spełnienie następujących warunków:

- przepustowość przekrojów zbiornikowych znajdujących się powyżej budowli musi zapewnić minimalny wydatek potrzebny dla podtrzymania i rozwinięcia procesu katastrofy,
- rzędne dna przekrojów zbiornikowych nie mogą powodować spowalniania procesu katastrofy.

Istotna jest zatem prawidłowa kalibracja krzywej pojemności zbiornika w pełnym zakresie jego pojemności.

5.1.2. Model hydrodynamiczny doliny poniżej zapory

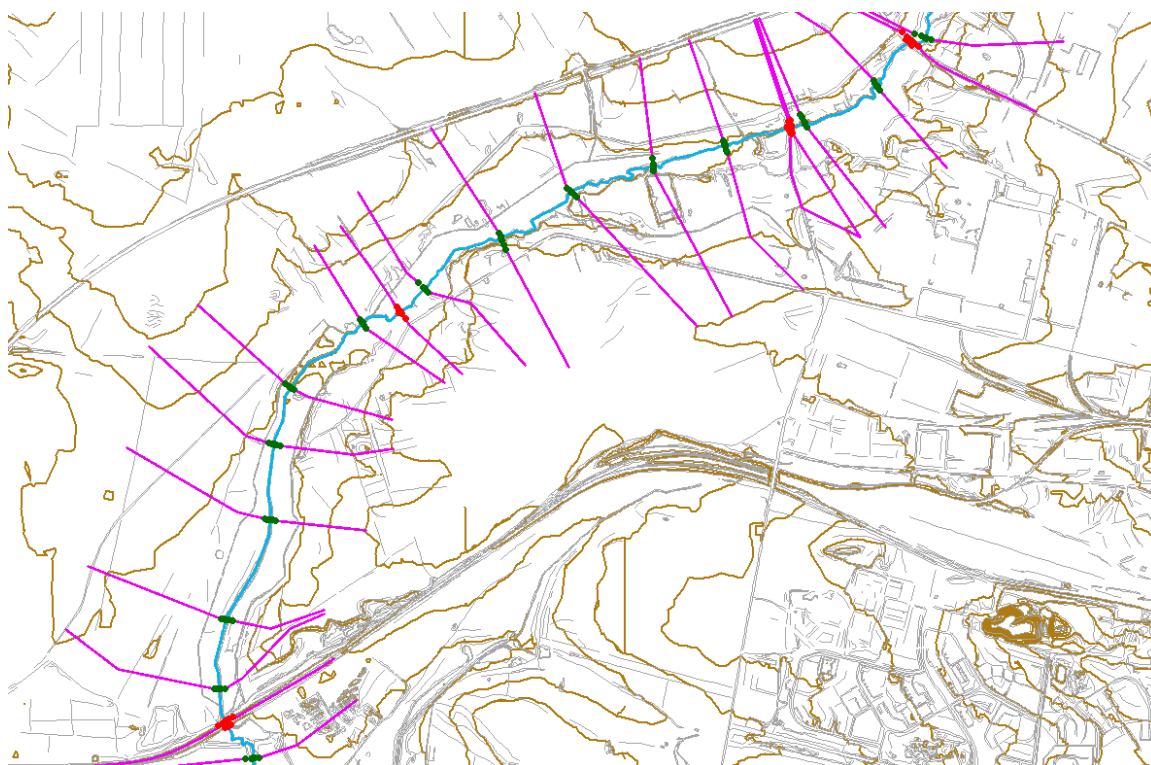
5.1.2.1. Schemat doliny

„Trasę modelu jednowymiarowego opisującego katastrofę zapory należy poprowadzić wzdłuż doliny rzecznej, a nie jak to ma miejsce w przypadku tradycyjnego modelu hydraulicznego tworzonego dla potrzeb wyznaczania obszarów zagrożenia powodziowego, wzdłuż osi cieku, z uwzględnieniem wszystkich jej meandrów. Takie podejście wymuszone jest znacznymi głębokościami wody w dolinie (katastrofa zapory powoduje gwałtowne opróżnienie zbiornika wodnego) wielokrotnie przekraczającej wielkości, które mogą wystąpić w przypadku pojawienia się naturalnej powodzi wywołanej rozlewnymi lub nawałnymi opadami deszczu. Kierunek przepływu nie będzie więc determinowany osi rzeki a ogólną topografią doliny. Schematyzacja powinna skupić się na uwzględnieniu tych cech doliny rzecznej, które będą miały wpływ na transformację przepływów ekstremalnych, z pominięciem nieistotnych szczegółów, jak niewielkie nasypy, meandry i zakola. Schematyzacja powinna zostać wykonana w sposób, który jednocześnie pozwoli na późniejszą kalibrację modelu w oparciu o fale historyczne, tak aby model w zakresie przepływów historycznie notowanych, w początkowej i końcowej fazie symulacji był w stanie we właściwy sposób przetransformować falę wywołaną katastrofą zapory przy równoczesnym zachowaniu ogólnego kształtu doliny.

W przypadku modelu dwuwymiarowego, którego podstawą jest NMT, sytuacja przedstawia się odmiennie – obliczenia są wykonywane na siatce obliczeniowej. W związku z powyższym nie ma konieczności wyznaczania trasy modelu – proces ten wykonywany jest automatycznie w trakcie obliczeń.” (RZGW w Krakowie, 2011).

5.1.2.2. Przekroje poprzeczne

„Podstawowym i najbardziej istotnym elementem wejściowym do budowy jednowymiarowego modelu transformacji fali wywołanej katastrofą są przekroje poprzeczne. Właściwe ich wyznaczenie warunkuje właściwe przeniesienie objętości mas wody wypływającej intensywnie z gwałtownie poszerzającej się wyrwy w dół doliny rzecznej. Przekroje poprzeczne należy sytuować prostopadle do głównego kierunku biegu doliny, tj. prostopadle do przebiegu warstwic na głównych zboczach ograniczających dolinę cieku z jego prawej i lewej strony. Należy pamiętać, aby początek i koniec przekrojów poprzecznych posiadał tą samą rzędną i był wyniesiony dostatecznie wysoko powyżej doliny rzecznej, co pozwoli uniknąć sztucznego zawężenia pola przepływu i gwałtownego spiętrzenia wody, a w konsekwencji błędnych wyników. W zależności od dostępnych materiałów wejściowych przekroje poprzeczne mogą być w całości wykonywane za pomocą bezpośrednich pomiarów terenowych lub jako połączenie pomiarów terenowych koryta rzeki i terenów przyległych z terasami wygenerowanymi w oparciu o numeryczny model terenu.” (RZGW w Krakowie, 2011).



Rysunek 2. Przykład lokalizacji przekrojów poprzecznych w dolinie rzecznej (RZGW w Krakowie, 2011)

„W przypadku modeli dwuwymiarowych nie występują przekroje poprzeczne, a obliczenia (o czym wspomniano w punkcie dotyczącym schematu doliny) wykonywane są w oparciu o siatkę NMT. W przypadku modeli hybrydowych, łączących w sobie elementy modelowania jedno i dwuwymiarowego, a więc takich, dla których przepływy, prędkości i napętnienia w korycie (czyli dla relatywnie niewielkich obszarów w skali analizy zjawiska katastrofy zapory) obliczane są z wykorzystaniem modelu 1D, natomiast transformacja na pozostałej części doliny odbywa się z zastosowaniem modelowania 2D, ważne jest odpowiednie połączenie przekrojów poprzecznych z modelem 1D z siatką obliczeniową modelu dwuwymiarowego. W tego typu modelach newralgicznym miejscem, mogącym negatywnie wpływać na wyniki obliczeń jest styk przekrojów poprzecznych z numerycznym modelem terenu. Dlatego bardzo ważne jest, aby punkty wspólne dla przekrojów modelu 1D z siatką modelu 2D posiadały identyczne rzędne. Spełnienie tego warunku zapobiega oscylacjom w trakcie obliczeń i zwiększa stabilność modelu.” (RZGW w Krakowie, 2011).

5.1.2.3. Identyfikacja parametrów hydraulicznych

„Kluczowym parametrem hydraulicznym dla modeli transformacji fali powodziowej, który warunkuje właściwe wyniki obliczeń jest współczynnik szorstkości (oporów przepływu). W przypadku modeli budowanych dla potrzeb katastrofy zapory dobór wartości tego parametru stanowi jednak główny element niepewności wpływający na jakość wyników obliczeń. W przypadku modeli rzecznych istnieje szereg opracowań, które wskazują typowe wartości współczynników szorstkości zarówno dla koryt jak i dla terenów zalewowych. W przypadku wystąpienia katastrofy zapory prędkości i wartości przepływów są tak duże a ilości niesionego i wlezonego materiału tak znaczne, iż zalewane tereny nie mogą być traktowane jako typowe tereny zalewowe,

co uniemożliwia ustalenie wartości współczynników szorstkości w standardowy sposób. Jak wspomniano powyżej w przypadku katastrofy zapory mamy do czynienia nie tylko z przepływem wody w dolinie (szczególnie na odcinku bezpośrednio poniżej zniszczonego obiektu) ale również z przepływem znacznej ilości różnorodnego materiału (części zapory, kamienie, żwir, piasek, namuły, drzewa, samochody, części domów, obiektów inżynierskich i ogrodzeń itd.). Tak więc opór podłoża będzie się dynamicznie zmieniał w miarę jak poszczególne duże elementy będą opadać, toczyć się i zatrzymywać wytracając tym samym energię kinetyczną fali powodziowej. W miarę przesuwania się czoła fali poniżej uszkodzonej zapory wartości współczynnika szorstkości będą się więc obniżać i zbliżać do wartości typowych dla poszczególnych typów zagospodarowania. W związku z opisanymi powyżej faktami zaleca się dokonanie (w oparciu o kolejne przybliżenia) rozdziału terenu doliny na dwie części:

- część bezpośrednio poniżej zapory, w której wielkość przepływu, prędkości oraz głębokości są tak wysokie, że należy spodziewać się, iż zniszczeniu ulegnie wszystko co znajdzie się w nurcie przepływu; dla tej części doliny wartość współczynnika szorstkości należy zdefiniować jako jedną globalną wartość wzdłuż całego przekroju i przyjąć wartość bardzo wysoką – rzędu 0,10 – 0,15 (dla „n” wg Manniga);
- część, gdzie zauważalny jest znaczący spadek prędkości i głębokości a fala może być traktowana jako typowa fala powodziowa o niskim prawdopodobieństwie przewyższenia; dla tej części wartości współczynnika szorstkości należy dobierać w oparciu o typowe tablice hydrauliczne (np. wg Ven Te Chow’a).

Na etapie opracowywania modelu, dla potrzeb jego kalibracji i weryfikacji w oparciu o hydrogramy z wezbrań historycznych wartości współczynnika szorstkości należy dobierać w oparciu o typowe tablice hydrauliczne (np. wg Ven Te Chow’a).” (RZGW w Krakowie, 2011).

5.1.2.4. Obiekty inżynierskie

„Do obiektów inżynierskich zaliczane są obiekty mostowe (mosty i przepusty) oraz obiekty hydrotechniczne (zapory, jazy, stopnie, progi, itd.). W przypadku opracowywania modeli rzecznych dla potrzeb wyznaczania obszarów zagrożenia powodziowego wywołanych naturalnymi powodziąmi, bardzo istotne jest, aby wszystkie tego typu obiekty zostały wprowadzone do modelu, gdyż mogą one istotnie wpływać na transformację fali powodziowej w korycie i na terasach zalewowych, i w konsekwencji wpływać na wyniki obliczeń. Odmienne wygląda sytuacja w przypadku modeli stworzonych dla potrzeb analizy zjawiska katastrofy zapory. W tym przypadku, z uwagi na gwałtowny przebieg zjawiska związanego z wpływem olbrzymich mas wody przez ulegającą katastrofie zaporę, należy uwzględnić fakt, iż część obiektów ulegnie zniszczeniu i pominąć ich implementację w modelu, pamiętając o odpowiednim zwiększeniu wartości współczynnika szorstkości. Dokonując wyboru, które obiekty powinny zostać uwzględnione w modelu należy uprzednio przeprowadzić symulację, w warunkach braku wszystkich budowli sprawdzając uzyskane wyniki, szczególnie w zakresie prędkości i głębokości. Analizując wyniki warto kierować się następującymi trzema kryteriami:

- „Kryterium naporu”. Czy obiekt wytrzyma działanie fali powodziowej niosącej znaczne ilości różnorodnego materiału? Sugeruje się, aby na odcinku nieprzekraczającym 5 km nie

wprowadzać do modelu obiektów inżynierskich z uwagi na znaczną siłę niszczącą niesionego materiału.

- „Kryterium głębokości”. Czy obiekt jest znaczący w odniesieniu do przewidywanej głębokości wody i w związku z powyższym czy warto go uwzględnić w modelu? Dla obiektów przykrytych warstwą wody wyższą od ich wysokości można przyjąć założenie, iż nie będą one wpływać na wyniki obliczeń.
- „Kryterium prędkości”. Czy w przypadku, gdy kryterium głębokości wykazuje na zasadność implementacji obiektu do modelu, prędkości przepływu nie są na tyle wysokie, iż ma on szansę oprzeć się czołu fali? Sugeruje się wprowadzanie do modelu tylko tych obiektów, w rejonie których średnie prędkości przemieszczającej się fali nie przekraczają 5 m/s (pomimo spełnienia „Kryterium głębokości”).

Powyższe kryteria wskazują sposób podejścia do procesu wyboru obiektów inżynierskich, które zostaną uwzględnione w modelu hydraulicznym. Z uwagi na odmienne warunki geomorfologiczne poszczególnych dolin rzecznych na których zlokalizowane są zbiorniki wodne, należy je traktować jako wskaźniki. Na etapie budowy modelu i związanej z tym działaniem implementacji obiektów inżynierskich niezbędna jest dodatkowo wizja w terenie oraz wiedza ekspercka, pozwalająca ostatecznie podjąć decyzję, które z obiektów powinny znaleźć się w modelu.

W przypadku obiektów inżynierskich, które po przeprowadzonej uprzednio analizie powinny się znaleźć w modelu, należy je zaimplementować bazując na pomiarach geodezyjnych, których zasady opisano w rozdziale 4.1.2 niniejszej metodyki. Implementację należy przeprowadzić zgodnie z warunkami i wymaganiami narzędzi do modelowania 1D bazując na powszechnie stosowanych metodach, takich jak: kombinacja przepustu i przelewu, metoda Water Surface Profile (WSPRO), poprzez bezpośrednie rozwiązanie równania energii metodą iteracyjną, w oparciu o zasadę zachowania energii lub przy zastosowaniu np. wzorów Yarnella, D'Aubuissona, Naglera i innych.” (RZGW w Krakowie, 2011).

5.1.2.5. Warunki brzegowe i ustalenie zasięgu katastrofy

„W modelu hydraulicznym konieczne jest ustalenie warunków brzegowych, ograniczających obszar modelowania. W każdym modelu występują górne i dolne warunki brzegowe oraz opcjonalnie wewnętrzne warunki brzegowe w postaci dopływów skupionych lub rozłożonych. Górne warunki brzegowe definiowane są w postaci hydrogramów przepływów lub stanów wody (rzędnych). Warunki te muszą być ustalone dla wszystkich górnych odcinków cieków ujętych w modelu. Dolnym warunkiem brzegowym, zamykającym model w zależności od przyjętych założeń modelowania może być hydrogram stanów wody (rzędnych) lub krzywa natężenia przepływu. W przypadku modelu dla katastrofy zapory górnym warunkiem jest hydrogram odpływu powstały w wyniku awarii (w przypadku, gdy modele dla zapory ulegającej katastrofie oraz transformacji fali w korycie poniżej są budowane osobno) lub hydrogram dopływu do zbiornika (przy modelu zintegrowanym).” (RZGW w Krakowie, 2011).

W przypadku wykorzystania modeli zbudowanych dla scenariuszy podstawowych modele mogą zawierać również odcinki cieków położone powyżej zbiornika. W takim przypadku jako górny warunek brzegowy wprowadza się niewielki przepływ, aby model na całej długości był wypełniony wodą i nie generował błędów. Dopływy boczne powyżej zbiornika, skupione i rozłożone, należy

zlikwidować a w pierwszym przekroju czaszy zbiornika lub innym pobliskim przekroju należy wprowadzić falę hipotetyczną o kulminacji równej przepływowi kontrolnemu dla analizowanego obiektu.

Sytuacja hydrologiczna w zlewni poniżej zbiornika nie jest zbyt istotna dla zasięgu zalewów na odcinku bezpośrednio poniżej zbiornika, gdyż katastrofa zapory skutkuje falą powodziową wielokrotnie przewyższającą falę dopływającą do zbiornika, ale w miarę zwiększania się odległości od zapory, dopływy boczne skupione i rozproszone stają się w tym kontekście coraz istotniejsze. Dla uniknięcia sytuacji, w której o zasięgu zalewów będących skutkiem katastrofy zapory decydują dopływy boczne poniżej zakłada się przyjęcie dopływów poniżej zbiornika identycznych jak dla scenariusza niskiego prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi rzecznych (fala o prawdopodobieństwie przewyższenia 0,2%). Rozwiązanie to pozwala na określenie kryterium zasięgu scenariusza zniszczenia lub uszkodzenia zapory przez porównanie go do scenariusza 0,2%. Jako kryterium stopu przyjmuje się sytuację, gdy maksymalny poziom wody dla scenariusza zniszczenia budowli piętrzącej w przekroju obliczeniowym modelu różni się o mniej niż 30-50 cm od poziomu wody dla scenariusza 0,2%. Kryterium 50 cm stosuje się dla zbiorników z obszarów, gdzie przeważa górski i podgórski charakter cieków, z bardziej wciętymi dolinami, gdzie zmiany przepływów skutkują większymi zmianami stanów wody niż w przypadku rzek nizinnych. Zaleca się stosowanie tego kryterium dla regionów wodnych: Górnej Odry, Środkowej Odry, Małej Wisły, Górnej-Zachodniej Wisły i Górnej-Wschodniej Wisły. Dla pozostałych obszarów kraju zaleca się kryterium 30 cm. Przy analizie różnic między scenariuszem Q0,2% a scenariuszem BP i wyznaczaniu przekroju granicznego, definiującego zasięg katastrofy, uwzględnia się różnice maksymalnych rzędnych zwierciadła wody w korycie cieku i na zawalach.

W sytuacji, gdy dla odbiornika cieku, na którym znajduje się analizowany zbiornik, przyjęto dopływy boczne według scenariusza 10% (por. rozdział 3.7), zasięg katastrofy określamy w identyczny sposób jak przy dopływach bocznych według scenariusza 0,2%, tj. odnosząc maksymalny poziom wody dla scenariusza zniszczenia budowli piętrzącej do poziomu wody dla scenariusza 0,2%.

Wyznaczony według opisanych wyżej kryteriów zasięg katastrofy jest jeszcze na etapie wyznaczania OZP dopasowywany do granic arkuszy mapy (por. rozdz. 5.2).

5.1.2.6. Kalibracja i weryfikacja

„W przypadku modelu hydrodynamicznego (ruchu nieustalonego) kalibracja wykonywana jest dla określonego wezbrania powodziowego, dla którego znany jest rozkład czasowy i przestrzenny przepływów oraz stanów wody. Polega na określeniu parametrów modelu w taki sposób, aby otrzymać zgodny z powodziowym wezbraniem historycznym, obliczeniowy rozkład stanów wody w profilu podłużnym rzeki, przy prawidłowym układzie warunków brzegowych w postaci hydrogramów przepływu. Zgodność ta sprowadza się do uzyskania zbieżnych hydrogramów stanów wody, zarówno pod względem wartości, jak i czasu w punktach kalibracyjnych (o znanych wartościach historycznych).

Weryfikacja modelu wykonywana jest na wezbraniu powodziowym innym niż wezbranie, dla którego wykonano kalibrację. Polega ona na ocenie zgodności hydrogramów historycznych

i obliczeniowych w tych samych punktach oraz w oparciu o te same parametry modelu, dla których wykonano kalibrację.

Kalibracja oraz weryfikacja możliwe są do przeprowadzenia dla cieku kontrolowanego, tj. takiego, na którym zlokalizowany jest posterunek wodowskazowy. Dodatkowym warunkiem koniecznym do poprawnego przeprowadzenia kalibracji i weryfikacji jest lokalizacja wodowskazu kontrolnego na odcinku objętym modelem hydraulicznym.

W przypadku modeli hydraulicznych budowanych na potrzeby analizy transformacji fali powodziowej wywołanej katastrofą zapory, proces kalibracji i weryfikacji modelu wykonywany jest jedynie dla potrzeb sprawdzenia ogólnych zasad jego działania, tj. określenia czy model we właściwy sposób transformuje przepływy w dół doliny i czy zachowana jest relacja pomiędzy wartościami stanów i przepływów w poszczególnych punktach kontrolnych (wodowskazach). Należy pamiętać, iż przepływy wywołane katastrofą zapory wielokrotnie przewyższają przepływy związane z typowymi powodziąmi, wywołanymi opadami deszczu. W związku z powyższym kalibracja modelu dla tak wysokich przepływów jest niemożliwa, z uwagi na brak odpowiednich fal historycznych.

Dla oceny jakości kalibracji weryfikacji modelu proponuje się oprzeć na następujących parametrach:

- współczynnik korelacji (R);
- specjalny współczynnik korelacji (R_s);
- całkowity błąd kwadratowy (CBK);
- błąd stanu kulminacji (ΔH_{max});
- błąd przepływu kulminacyjnego (ΔQ_{max});
- przesunięcie kulminacji (Δt_{max});
- błąd objętości fali wezbraniowej (ΔV_{max}).

Współczynnik korelacji należy określić dla stanów z następującego wzoru, gdzie: h_o – stan obserwowany, h_c – stan obliczeniowy:

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N h_{o(i)} \cdot h_{c(i)} - \sum_{i=1}^N h_{o(i)} \cdot \sum_{i=1}^N h_{c(i)}}{\left[\left(N \sum_{i=1}^N h_{o(i)}^2 - \left(\sum_{i=1}^N h_{o(i)} \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^N h_{c(i)}^2 - \left(\sum_{i=1}^N h_{c(i)} \right)^2 \right) \right]^{1/2}}$$

Współczynnik korelacji należy określić dla przepływów z następującego wzoru, gdzie: Q_o – przepływ obserwowany, Q_c – przepływ obliczeniowy:

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N Q_{o(i)} \cdot Q_{c(i)} - \sum_{i=1}^N Q_{o(i)} \cdot \sum_{i=1}^N Q_{c(i)}}{\left[\left(N \sum_{i=1}^N Q_{o(i)}^2 - \left(\sum_{i=1}^N Q_{o(i)} \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^N Q_{c(i)}^2 - \left(\sum_{i=1}^N Q_{c(i)} \right)^2 \right) \right]^{1/2}}$$

Kryterium określania miar zgodności dla współczynnika korelacji:



- $0,95 < R \leq 1,00$ znakomity
- $0,80 < R \leq 0,95$ bardzo dobry
- $0,70 < R \leq 0,80$ dobry
- $0,60 < R \leq 0,70$ dość dobry
- $0,00 < R \leq 0,60$ niezadowalający

Specjalny współczynnik korelacji należy określić dla stanów z następującego wzoru, gdzie: h_o – stan obserwowany, h_c - stan obliczeniowy:

$$R_s = \left[\frac{2 \sum_{i=1}^N h_{o(i)} \cdot h_{c(i)} - \sum_{i=1}^N h_{c(i)}^2}{\sum_{i=1}^N h_{o(i)}^2} \right]^{1/2}$$

Specjalny współczynnik korelacji należy określić dla przepływów z następującego wzoru: Q_o – przepływ obserwowany, Q_c - przepływ obliczeniowy:

$$R_s = \left[\frac{2 \sum_{i=1}^N Q_{o(i)} \cdot Q_{c(i)} - \sum_{i=1}^N Q_{c(i)}^2}{\sum_{i=1}^N Q_{o(i)}^2} \right]^{1/2}$$

Kryterium określania miar zgodności dla specjalnego współczynnika korelacji:

- $0,95 < R_s \leq 1,00$ znakomity
- $0,85 < R_s \leq 0,95$ bardzo dobry
- $0,70 < R_s \leq 0,85$ dobry
- $0,60 < R_s \leq 0,70$ dość dobry
- $0,00 < R_s \leq 0,60$ niezadowalający

Całkowity średni błąd kwadratowy należy określić dla stanów z następującego wzoru, gdzie: h_o – stan obserwowany, h_c - stan o obliczeniowy:

$$CBK = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (h_{o(i)} - h_{c(i)})^2 \right]^{1/2}}{\sum_{i=1}^N h_{o(i)}} \cdot 100\%$$

Całkowity średni błąd kwadratowy należy określić dla przepływów z następującego wzoru: Q_o – przepływ obserwowany, Q_c - przepływ obliczeniowy:

$$CBK = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (Q_{o(i)} - Q_{c(i)})^2 \right]^{1/2}}{\sum_{i=1}^N Q_{o(i)}} \cdot 100\%$$

Kryterium określania miar zgodności dla całkowitego średniego błędu kwadratowego:

- $0,0 \leq CBK [\%] < 3,0$ znakomity
- $3,0 \leq CBK [\%] < 6,0$ bardzo dobry
- $6,0 \leq CBK [\%] < 10,0$ dobry
- $10,0 \leq CBK [\%] < 25,0$ dość dobry
- $25,0 \leq CBK [\%]$ niezadowalający

Błąd stanu kulminacyjnego należy określić dla stanów jako różnicę rzędnych wartości maksymalnej hydrogramów obliczeniowego i obserwowanego.

Kryterium określania miar zgodności dla błędu stanu kulminacyjnego.

- $0 \text{ cm} \leq (\Delta H_{max}) < 5 \text{ cm}$ znakomity
- $5 \text{ cm} \leq (\Delta H_{max}) < 10 \text{ cm}$ bardzo dobry
- $10 \text{ cm} \leq (\Delta H_{max}) < 15 \text{ cm}$ dobry
- $15 \text{ cm} \leq (\Delta H_{max}) < 20 \text{ cm}$ dość dobry
- $20 \text{ cm} \leq (\Delta H_{max})$ niezadowalający

Błąd przepływu kulminacyjnego należy określić dla przepływów jako różnicę wartości maksymalnej hydrogramów obliczeniowego i obserwowanego.

Kryterium określania miar zgodności dla błędu przepływu kulminacyjnego.

- $0 \% \leq (\Delta Q_{max}) < 3 \%$ znakomity
- $3 \% \leq (\Delta Q_{max}) < 6 \%$ bardzo dobry
- $6 \% \leq (\Delta Q_{max}) < 10 \%$ dobry
- $10 \% \leq (\Delta Q_{max}) < 25 \%$ dość dobry
- $25 \% \leq (\Delta Q_{max})$ niezadowalający

Przesunięcie kulminacji należy określić dla stanów jako przesunięcie w czasie wartości maksymalnej hydrogramu obliczeniowego i obserwowanego:

Kryterium określania miar zgodności dla przesunięcia kulminacji.

- $0 \text{ h} \leq (\Delta t_{max}) < 0,5 \text{ h}$ znakomity
- $0,5 \text{ h} \leq (\Delta t_{max}) < 1,0 \text{ h}$ bardzo dobry
- $1,0 \text{ h} \leq (\Delta t_{max}) < 1,5 \text{ h}$ dobry
- $1,5 \text{ h} \leq (\Delta t_{max}) < 2,0 \text{ h}$ dość dobry
- $(\Delta t_{max}) \leq 2,0 \text{ h}$ niezadowalający

Błąd objętości fali wezbraniowej należy określić dla przepływów jako różnicę objętości fali obliczeniowej i obserwowanej

Kryterium określania miar zgodności dla błędu objętości fali wezbraniowej.

- $0 \% \leq (\Delta V_{max}) < 3 \%$ znakomity
- $3 \% \leq (\Delta V_{max}) < 6 \%$ bardzo dobry
- $6 \% \leq (\Delta V_{max}) < 10 \%$ dobry
- $10 \% \leq (\Delta V_{max}) < 25 \%$ dość dobry
- $(\Delta V_{max}) \leq 25 \%$ niezadowolający

W przypadku kalibracji dla każdego z kryteriów zaleca się, aby model otrzymał co najmniej ocenę „dobry”, w przypadku weryfikacji co najmniej „dość dobry”. (RZGW w Krakowie, 2011).

Jeżeli w symulacjach procesu katastrofy zapory wykorzystuje się skalibrowane i zweryfikowane modele, opracowane dla scenariuszy podstawowych, ponowny proces kalibracji i weryfikacji nie jest wymagany.

5.2. PRZETWARZANIE WYNIKÓW MODELOWANIA I WYZNACZANIE OBSZARÓW NARAŻONYCH NA ZALANIE W PRZYPADKU ZNISZCZENIA LUB USZKODZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH

„Efektem końcowym obliczeń symulujących katastrofę budowli piętrzącej jest wyznaczenie obszaru zagrożenia powodziowego (OZP) wraz z wyznaczeniem rozkładu głębokości wody.” (RZGW w Krakowie, 2011).

OZP i strefy głębokości wody, w charakterystycznych przedziałach, wyznacza się w oparciu o wyniki modelowania hydraulicznego 1D lub 2D, w postaci rzędnych zwierciadła wody. W praktyce stosowane są także modele hybrydowe stanowiące połączenie modeli jednowymiarowych z modelami dwuwymiarowymi. Modele dwuwymiarowe stosowane są zazwyczaj na obszarach zurbanizowanych, gdzie z uwagi na wysoką gęstość zaludnienia mamy do czynienia z największymi zagrożeniami dla zdrowia i życia ludzi.

„Wyznaczenie OZP dla potrzeb prezentowania zasięgu katastrofy zapory polega na stworzeniu numerycznego modelu powierzchni wody (NMPW) na podstawie wyników modelowania hydraulicznego. Połączenie numerycznego modelu powierzchni wody z numerycznym modelem terenu w systemach GIS pozwala na wyznaczenie zasięgu obszarów oraz rozkładu głębokości wody.

Zasady tworzenia NMPW uzależnione są od zastosowanego w obliczeniach modelu numerycznego. W modelach jednowymiarowych, w których wynikiem obliczeń jest poziom zwierciadła wody jednakowy dla całego przekroju nanosi się wyznaczone przekroje dolinowe i korytowe jako linie łamane o znanych współrzędnych X, Y oraz obliczonej dla danego przekroju rzędnej zwierciadła wody. Otrzymany w ten sposób zbiór izolinii przekształcany jest w systemach GIS w NMPW. W przypadku obliczeń wykonanych przy pomocy modeli dwuwymiarowych wynikiem obliczeń jest bezpośrednio NMPW.” (RZGW w Krakowie, 2011).

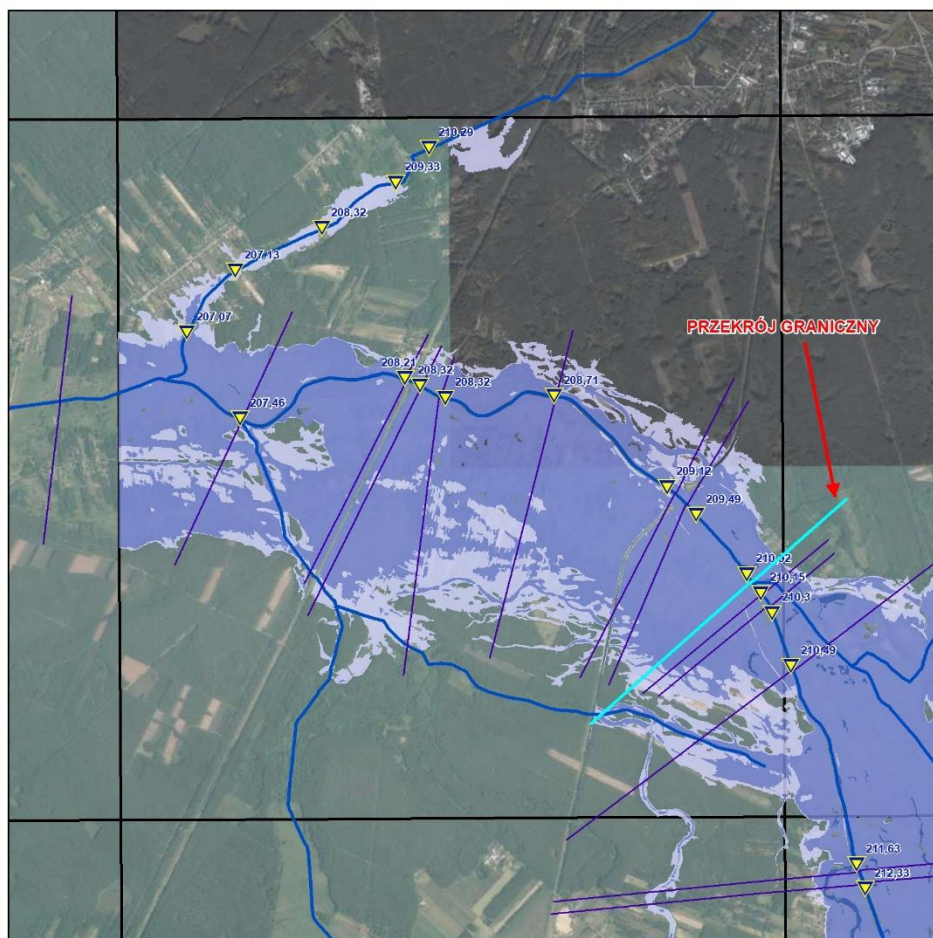
Wygenerowane w systemach GIS obszary zagrożenia powodziowego wizualizuje się na ortofotomapach, tak aby maksymalnie ułatwić interpretację zagrożenia spowodowanego katastrofą budowli piętrzącej. Analizując wykonane OZP należy zwrócić uwagę na obszary, które zostały wyznaczone jako tereny zalane, a nie mają kontaktu z główną strefą zalewu. Może to być spowodowane dokładnością NMT lub wynikać z niewłaściwych założeń na etapie budowy modelu hydraulicznego. Obszary takie należy poddać interpretacji eksperckiej i w przypadku stwierdzenia ich niepoprawności wyłączyć z zasięgu obszarów zagrożenia powodziowego.

Procedura wyznaczania OZP i stref głębokości, w oparciu o oprogramowanie GIS, obejmuje następujące kroki:

- 1) Generowanie rastra numerycznego modelu powierzchni wody (NMPW) i rastra głębokości wody.
- 2) Weryfikacja rastra głębokości wody.
- 3) Wyznaczanie obszarów zagrożenia powodziowego oraz stref głębokości.
- 4) Uzgadnianie obszarów zagrożenia powodziowego na stykach obszarów modelowania.
- 5) Ostateczna weryfikacja stref głębokości wody i obszarów zagrożenia powodziowego.

Szczegółowy opis ww. procedury zawiera Metodyka dla powodzi rzecznych.

W trakcie wyznaczania OZP dokonuje się również ostatecznego ustalenia zasięgu katastrofy zapory. Zasięg określony przez przekrój graniczny, wyznaczony w oparciu o kryterium stopu (por. rozdz. 5.1.2.5) przedłuża się do granic arkuszy mapy w układzie południkowym lub równoleżnikowym (por. Rysunek 3). Wyjątkiem od tej zasady są przypadki, gdy zasięg katastrofy kończy się na ujściu rzeki. Granicą zasięgu katastrofy jest w tym przypadku odbiornik, do którego uchodzi rzeka.



Rysunek 3. Dopasowanie zasięgu katastrofy do granic arkusza mapy – przykład dla zbiornika Poraj

6. METODYKA OPRACOWANIA MRP

Zgodnie z ustawą – Prawo wodne (art. 170 ust. 1) dla obszarów zagrożenia powodziowego sporządza się mapy ryzyka powodziowego.

Zgodnie z Rozporządzeniem na mapach ryzyka powodziowego prezentuje się potencjalne negatywne skutki związane z powodzią poprzez określenie:

- negatywnych skutków dla życia i zdrowia ludzi;
- rodzajów działalności gospodarczej;
- obszarów chronionych;
- obiektów zagrażających środowisku w przypadku wystąpienia powodzi, w tym również mogących wpływać negatywnie na zdrowie ludzi;
- obszarów i obiektów dziedzictwa kulturowego;
- wartości potencjalnych strat powodziowych.

Mapy ryzyka powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących należy wykonać zgodnie z „Metodyką dla powodzi rzecznych”.

Należy jednak uwzględnić specyfikę scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących w zakresie m.in. nazw map, zawartości legend i struktury bazy danych oraz struktury katalogowej.

7. BAZY DANYCH PRZESTRZENNYCH MZP I MRP

7.1. BAZY DANYCH

Bazy danych przestrzennych MZP i MRP dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących przygotowuje się w formacie *.shp w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PL-1992. Dodatkowo należy wykonać wersję bazy danych w formacie geobazy ESRI wraz z narzędziami do migracji między formatami danych.

Baza danych MZP i MRP dla obszarów narażonych na zalanie w przypadku zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących będzie stanowić oddzielną bazę danych, ale o strukturze spójnej z innymi typami powodzi (struktura atrybutowa i katalogowa, nazewnictwo plików). Różnice w strukturze i nazewnictwie wynikają jedynie ze specyfiki danych i informacji w tym scenariuszu.

Baza danych map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego obejmuje:

1) Warstwy referencyjne:

- cieki naturalne i kanały;
- cieki pozostałe;
- wody powierzchniowe;
- drogi;
- koleje;
- województwo;
- powiat;
- gmina;
- podział arkuszowy map w skali 1:10 000 dla układu PL-1992.

2) Warstwy map zagrożenia powodziowego:

- obszar zagrożenia powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej;
- głębokość wody;
- maksymalne rzędne zwierciadła wody;
- miejsce uszkodzenia budowli piętrzącej;
- budowle piętrzące;
- rzędne korony wałów przeciwpowodziowych w przekrojach poprzecznych;
- wały przeciwpowodziowe;
- kilometraż.

3) Warstwy map ryzyka powodziowego:

- użytkowanie terenu z obliczonymi potencjalnymi stratami powodziowymi;
- użytkowanie terenu;
- budynki;
- zakłady przemysłowe;
- ujęcia wody;
- strefy ochronne ujęć wody;
- kąpieliska;
- formy ochrony przyrody;
- obszary cenne kulturowo;



- obiekty cenne kulturowo;
- ogrody zoologiczne;
- cmentarze (potencjalne ogniska zanieczyszczeń);
- składowiska odpadów (potencjalne ogniska zanieczyszczeń);
- oczyszczalnie i przepompownie ścieków (potencjalne ogniska zanieczyszczeń);
- miejscowości.

Informacja o obowiązującej wersji arkusza mapy MZP i MRP (np. 2019v1, 2022v1) zawarta jest w warstwie ramka_arkusza (podział arkuszowy map w skali 1:10 000).

Szczegółowy opis struktury atrybutowej bazy danych map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących został zawarty w załączniku nr 1 i obejmuje: nazwy warstw, typy warstw, opis warstw, źródło danych oraz atrybuty (nazwa pola, typ pola, opis, źródło atrybutu).

Wewnętrzna struktura katalogowa bazy danych w formacie shp, dla obszarów narażonych na zalanie w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących jest analogiczna ze strukturą dla powodzi rzecznych.

7.2. METADANE

Dla wszystkich danych przestrzennych wytworzonych w projekcie należy przygotować metadane zgodne z Dyrektywą INSPIRE oraz wytycznymi Komisji Europejskiej w zakresie raportowania z Dyrektywy Powodziowej.

Zakres metadanych zgodny z profilem INSPIRE został określony (w ramach „Metodyki dla powodzi rzecznych”), dla wszystkich typów powodzi, na podstawie poniższych dokumentów:

- INSPIRE Metadata Implementing Rules: Technical Guidelines based on EN ISO 19115 and EN ISO 19119 v1.3, 2013;
- Technical Guidelines for implementing dataset and service metadata based on ISO/TS 19139:2007 v2.0.1, 2017;
- Data Specification on Natural Risk Zones – Technical Guidelines v3.0, 2013;
- Floods Directive GIS Guidance – Guidance on the reporting of spatial data to WISE, 2020.

Zgodnie z ww. zakresem metadane należy przygotować oddzielnie dla:

- 1) Bazy danych MZP i MRP – zgodnie z aktualnym profilem metadanych INSPIRE – dla następujących zbiorów:
 - a) MZP
 - b) MZP_WZ
 - c) MZP_BP*
 - d) MRP_RL
 - e) MRP_RL_WZ
 - f) MRP_RL_BP*
 - g) MRP_RS
 - h) MRP_RS_WZ
 - i) MRP_RS_BP*

*metadane związane z mapami zagrożenia powodziowego i ryzyka powodziowego realizowane w scenariuszu uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących.

- 2) Zbiorów danych z zał. III INSPIRE – zgodnie z aktualnym profilem metadanych INSPIRE (dotyczy tylko powodzi rzecznych i od strony morza):
 - a) FHA_low
 - b) FHA_medium
 - c) FHA_high
 - d) FRZ_low
 - e) FRZ_medium
 - f) FRZ_high

- 3) Sporządzenia raportu dla Komisji Europejskiej z przeglądu i aktualizacji map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego (dotyczy wszystkich typów powodzi).

Zbiory danych wskazane w pkt 1 (wyróżnione *) należy opisać metadanymi w formacie xml, pogrupowanymi tematycznie w podziale na obszary dorzecza. Schemat xml metadanych został opisany w ramach „Metodyki dla powodzi rzecznych”.

Należy wykonać skorowidze (dla MZP i MRP w wersji kartograficznej) w formacie *.shp, zawierające arkusze z przypisaną informacją na temat rodzaju danych i ich zasięgu przestrzennego, aktualności danych źródłowych, rodzaju zastosowanego modelu oraz Wykonawcy (Tabela 3, Tabela 4).

Ponadto należy wykonać skorowidze aktualności MZP i MRP dla odcinków rzek, i arkuszy mapy 1:10 000, w strukturze atrybutowej opisanej w załączniku 3.

7.2.1. Skorowidz map zagrożenia powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej

- Warstwa: Skorowidz_MZP_BP;
- Typ warstwy: powierzchniowa;
- Opis: zasięg obszaru w kroju arkuszowym mapy w skali 1:10 000 w układzie współrzędnych PL-1992;
- Źródło danych: aMZPiMRP.

Tabela 3. Struktura atrybutowa skorowidzu map zagrożenia powodziowego

Atrybut	Typ pola	Opis	Źródło atrybutu
GODLO	T(22)	Godło arkusza mapy w układzie 1992	GUGIK
WSP_LG	T(254)	Współrzędne [X;Y] lewego górnego narożnika arkusza	GUGIK
WSP_LD	T(254)	Współrzędne [X;Y] lewego dolnego narożnika arkusza	GUGIK
WSP_PG	T(254)	Współrzędne [X;Y] prawego górnego narożnika arkusza	GUGIK
WSP_PD	T(254)	Współrzędne [X;Y] prawego dolnego narożnika arkusza	GUGIK
WYKONAWCA	T(38)	Wykonawca	aMZPiMRP
KL_MOD	T(5)	Rodzaj zastosowanego modelu	aMZPiMRP
AKT_BDOT	T(50)	Aktualność BDOT	aMZPiMRP
AKT_NMT	T(50)	Aktualność NMT	aMZPiMRP
UWAGI	T(254)	Uwagi	aMZPiMRP
MZP_BP	T(50)	Nazwa mapy zagrożenia powodziowego z głębokością wody BP	aMZPiMRP

7.2.2. Skorowidz map ryzyka powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzącej

- Warstwa: Skorowidz_MRP_BP;
- Typ warstwy: powierzchniowa;
- Opis: zasięg obszaru w kroju arkuszowym mapy w skali 1:10 000 w układzie współrzędnych PL-1992;
- Źródło danych: aMZPiMRP.

Tabela 4. Struktura atrybutowa skorowidzu map ryzyka powodziowego

Atrybut	Typ pola	Opis	Źródło atrybutu
GODLO	T(22)	Godło arkusza mapy w układzie 1992	GUGIK
WSP_LG	T(254)	Współrzędne [X;Y] lewego górnego narożnika arkusza	GUGIK
WSP_LD	T(254)	Współrzędne [X;Y] lewego dolnego narożnika arkusza	GUGIK
WSP_PG	T(254)	Współrzędne [X;Y] prawego górnego narożnika arkusza	GUGIK
WSP_PD	T(254)	Współrzędne [X;Y] prawego dolnego narożnika arkusza	GUGIK
WYKONAWCA	T(38)	Wykonawca	aMZPiMRP
KL_MOD	T(5)	Rodzaj zastosowanego modelu	aMZPiMRP
AKT_BDOT	T(50)	Aktualność BDOT	aMZPiMRP
AKT_NMT	T(50)	Aktualność NMT	aMZPiMRP
UWAGI	T(254)	Uwagi	WYKONAWCA
MRP_RL_BP	T(50)	Nazwa mapy ryzyka powodziowego - potencjalne negatywne skutki dla życia i zdrowia ludzi oraz wartości potencjalnych strat powodziowych BP	aMZPiMRP
MRP_RS_BP	T(50)	Nazwa mapy ryzyka powodziowego - potencjalne negatywne skutki dla środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej BP	aMZPiMRP

8. WERSJA KARTOGRAFICZNA MZP I MRP

Wersje kartograficzne MZP i MRP dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących opracowuje się w postaci plików rastrowych w podziale na arkusze (godła) odpowiadające arkuszom map topograficznych w skali 1:10 000, w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PL-1992.

Wersje kartograficzne przygotowuje się w poniższych formatach:

- pdf (wersja z opisem pozaramkowym);
- geotiff (treść mapy, bez informacji pozaramkowych).

Wersje kartograficzne MZP i MRP wykonuje się dla następujących rodzajów map:

- 1) mapy zagrożenia powodziowego w jednym zestawie tematycznym:
 - a) mapa zagrożenia powodziowego z głębokością wody – prezentująca obszary zagrożenia powodziowego wraz z wyróżnieniem czterech stref głębokości wody (o wartościach granicznych 0,5 m; 2 m; 4 m);
- 2) mapy ryzyka powodziowego w dwóch zestawach tematycznych:
 - a) mapa ryzyka powodziowego – potencjalne negatywne skutki dla życia i zdrowia ludzi oraz wartości potencjalnych strat powodziowych,
 - b) mapa ryzyka powodziowego – potencjalne negatywne skutki dla środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej.

Zestawienie wszystkich rodzajów wersji kartograficznej map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego przedstawiono w tabeli (Tabela 5).

Tabela 5. Rodzaje wersji kartograficznej map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego

Lp.	Tytuł mapy	Nazwa pliku z wersją kartograficzną [godło arkusza_rodzaj mapy_oznaczenie scenariusza_zbiornik_wersja_typ pliku.rozszerzenie]	Przykład
1	MAPA ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO Z GŁĘBOKOŚCIĄ WODY OBSZARY NARAŻONE NA ZALANIE W PRZYPADKU USZKODZENIA LUB ZNISZCZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCEJ	Godło_ZG_BP_zbiornik_wersja_typ pliku.rozszerzenie	N33060Aa1_ZG_BP_Besko_2022v1.pdf N33060Aa1_ZG_BP_Besko_2022v1_GEO TIFF.tif
2	MAPA RYZYKA POWODZIOWEGO – POTENCJALNE NEGATYWNE SKUTKI DLA ŻYCIA I ZDROWIA LUDZI ORAZ WARTOŚCI POTENCJALNYCH STRAT POWODZIOWYCH OBSZARY NARAŻONE NA ZALANIE W PRZYPADKU USZKODZENIA LUB ZNISZCZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCEJ	Godło_RL_BP zbiornik_wersja_typ pliku.rozszerzenie	N33060Aa1_RL_BP_Besko_2022v1.pdf N33060Aa1_RL_BP_Besko_2022v1_GEO TIFF.tif
3	MAPA RYZYKA POWODZIOWEGO – POTENCJALNE NEGATYWNE SKUTKI DLA ŚRODOWISKA, DZIEDZICTWA KULTUROWEGO I DZIAŁALNOŚCI GOSPODARCZEJ OBSZARY NARAŻONE NA ZALANIE W PRZYPADKU USZKODZENIA LUB ZNISZCZENIA BUDOWLI PIĘTRZĄCEJ	Godło_RS_BP zbiornik_wersja_typ pliku.rozszerzenie	N33060Aa1_RS_BP_Besko_2022v1.pdf N33060Aa1_RS_BP_Besko_2022v1_GEO TIFF.tif

Szczegółowy opis wszystkich rodzajów map, wraz z tytułami i nazwami plików, znajduje się w załączniku nr 2 *Opis wersji kartograficznej map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących.*

9. WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW

Załącznik nr 1 – Struktura atrybutowa wersji numerycznej map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego dla obszarów narażonych na zalanie w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących.

Załącznik nr 2 – Opis wersji kartograficznej map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego dla scenariusza uszkodzenia lub zniszczenia budowli piętrzących.

Załącznik nr 3 – Struktura atrybutowa skorowidzów.

BIBLIOGRAFIA

Borowicz A., Kwiatkowski J., Spatka J., Zeman E., 2009: 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.

Buczek A., Hejmanowska B., Marmol M., Rachwał R., Rachwał S., 2009: Metodyka opracowania produktów geodezyjnych i kartograficznych dla potrzeb wdrażania Dyrektywy 2007/60/WE w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne w Krakowie Sp. z o.o.; Kraków.

Corestein G., Bladé E., Gómez M., Dolz J., Oñate E., Piazzese J., 2006: 1d Cross Sections From A 2d Mesh, A Feature For A Hydraulic Simulation Tool, Barcelona, Spain.

Dam Failures. Statistical Analysis, Ruptures de barrages. Analyse statistique, 1995. Biuletyn99 Icold – cigb.

Data Specification on Natural Risk Zones –Technical Guidelines v3.0, 2013.

DHI, 2007a: “Mike 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, User Guide” – Hørsholm, Denmark.

DHI, 2007b: “Mike 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation” – Hørsholm, Denmark.

DHI, 2007c: “Mike Flood, 1D-2D Modelling, User Manual” - Hørsholm, Denmark.

DHI, 2009a: Mike 11, MikeNAM, MikeGIS User Guide and Scientific Documentation.

DHI, 2009b: Modelling the world of water. Software catalogue.

Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim.

Fiedler K., 2007: Awarie i katastrofy zapór – zagrożenia, ich przyczyny i skutki oraz działania zapobiegawcze. Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, s. 216.

Flood Directive Reporting Guidance 2018 v.5.0, 08.03.2021.

Floods Directive GIS Guidance. Guidance on the reporting of spatial data to WISE, 15.04.2019.

Fontenot E., Kerper D., Butts M., Taylor A., b.d.: Achieving stakeholder credibility – A flood modelling case study, b.d.

Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., 2007: GIS: obszary zastosowań. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains; USGS, Water-supply Paper 2339.

Handbook on good practices for flood mapping in Europe, 2007.

Henrik G. Muller, Morten Rungoe, 1996: Integrating Floodplain management and numerical modelling, using ArcView Danish Hydraulic Institute.

Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, 2002.

IMGW-PIB, 2017a: Wyznaczenie stref zalewu powstałych w wyniku awarii lub katastrofy budowlanej piętrzącej. Zbiornik Mietków. IMGW Oddział Wrocław, 2017.

IMGW-PIB, 2017b: Wyznaczenie stref zalewu powstałych w wyniku awarii lub katastrofy budowlanej piętrzącej. Zbiornik Słup. IMGW Oddział Wrocław, 2017.

IMGW-PIB, 2017c: Wyznaczenie stref zalewu powstałych w wyniku awarii lub katastrofy budowlanej piętrzącej. Zbiornik Dobromierz. – materiały kartograficzne.

IMGW-PIB, 2017d: Wyznaczenie stref zalewu powstałych w wyniku awarii lub katastrofy budowlanej piętrzącej. Zbiornik Przeczyce. IMGW Oddział Gdynia, 2016.

INSPIRE Metadata Implementing Rules: Technical Guidelines based on EN ISO 19115 and EN ISO 19119 v1.3, 2013.

Jorgeson J., Ying X., Wardlaw W.: Two-Dimensional Modeling Of Dam Breach Flooding, US-China Workshop On Advanced Computational Modelling In Hydroscience & Engineering; September 19-21, Oxford, Mississippi, USA.

Kubrak J., Nachlik E., 2003: Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości koryt rzecznych, Monografia, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

Lin B., Wicks J. M., Falconer R. A., Adams K., 2006: Integrating 1D and 2D hydrodynamic models for flood simulation, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Management 159, Issue WMI, pp.19-25.

Lynn E. Johnson, 2009: Geographic Information Systems in Water Resources Engineering. Taylor Francis Group.

Metodyka analizy zagrożeń powodziowych spowodowanych katastrofami zapór o wysokości $H \geq 15m$. Projekt PL0456 „Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowlanych piętrzących”. RZGW w Krakowie, IMGW-PIB, Kraków, 2011.

Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego w II cyklu planistycznym. Wersja 7.00. IMGW-PIB, ARCADIS sp. z o.o., 2020 (na zlecenie PGW WP).

Molkersrød K., Konow T., b.d.: Non-structural requirements on dams in Norway, Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE).

Nachlik E., Kostecki S., Gądek W., Stochmal R., 2000: Stefy zagrożenia powodziowego, BKPBS, Wrocław.

Nowak J., 1992: Flood Wave Forecasting in Large River Catchment. Proc. of International Conference on „Operational Hydrology”. Wola Zręczycka 22-24.09.1991: s 123-135.

Ozga-Zielińska M. i in., 2003: Powodziogenność rzek pod kątem bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych i zagrożenia powodziowego, Materiały Badawcze, Seria: Hydrologia i Oceanologia no 29, IMGW Warszawa.

Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994: Hydrologia stosowana. PWN, Warszawa.

PGW WP, 2018: Identyfikacja presji w regionach wodnych i na obszarach dorzeczy. Wykonawca: DHI Polska Sp. z o.o. w konsorcjum z „Pectore-Eco” Sp. z o.o.

*Radczyk L., Szymkiewicz R. i in., 2001: Wyznaczanie stref zagrożenia powodziowego, BKPBS, Wrocław.
aMZPiMRP Metodyka Budowle piętrzące 20210917 v1.00 pub.docx*

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 4 października 2018 r. w sprawie opracowywania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego (Dz.U. 2018 poz. 2031).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie.

RZGW w Krakowie, IMGW-PIB, 2011: Raport z wykonania poddziałania nr 4.3 „Wykonanie opracowania końcowego”. Projekt PL0456 „Zagrożenia powodziowe powstałe w wyniku katastrof budowli piętrzących” (opracowali: Radoń R., Mirosław-Świątek D.).

RZGW w Krakowie, IMGW-PIB, 2012: Wyznaczenie zasięgu strefy zalewowej dla scenariusza katastrofy zapory zbiornika wodnego Świnna Poręba na rzece Skawie.

Shamsi, U.M., 2001: GIS and Modeling Integration. CE News, Vol. 13, No. 6, July 2001.

SHP, 2017: Aktualizacja metodyki obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ. Stowarzyszenie Hydrologów Polskich, Warszawa.

Storożyńska K. [red.], 2000: Katastrofy zapór analiza statystyczna. Biuletyn 99 CIGB – ICOLD, Polski komitet Wielkich zapór, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Szymkiewicz R., 2000: Modelowanie matematyczne przepływów w rzekach i kanałach, PWN Warszawa.

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz. U. z 2020 r. poz. 310, z późn. zm.).

Werner M.G.F., 2004: A comparison of flood extent modeling approaches through constraining uncertainties on gauge data, Delft, The Netherlands.

Włodarczyk A., Seliga A., 2010: Metodyki na potrzeby opracowania dokumentów implementujących dyrektywę powodziową w Polsce, Hydrotechnika XII 2010, Ustroń 18-20 maja 2010.

Wołoszyn J., Czamara W., Eliasiewicz R., Krężel J., 1994: Regulacja rzek i potoków, AR Wrocław.

Ying, X. and Wang, S.Y., 2004: Two-dimensional numerical simulations of Malpasset dam-break wave propagation, Proceedings of 6th International Conference on Hydrosience and Engineering, Brisbane, Australia, May 30 – June 3, 2004.



Spis rysunków

Rysunek 1. Przykładowe lokalizacje miejsc powstania uszkodzeń korpusu zapory ziemnej w przypadku przelania wody przez koronę lub przebicia hydraulicznego i sufozji gruntu (RZGW w Krakowie, 2011)	18
Rysunek 2. Przykład lokalizacji przekrojów poprzecznych w dolinie rzecznej (RZGW w Krakowie, 2011)	35
Rysunek 3. Dopasowanie zasięgu katastrofy do granic arkusza mapy – przykład dla zbiornika Poraj	44

Spis tabel

Tabela 1. Zestawienie danych wejściowych niezbędnych do opracowania MZP	27
Tabela 2. Zestawienie danych niezbędnych do opracowania MRP	28
Tabela 3. Struktura atrybutowa skorowidzu map zagrożenia powodziowego.....	48
Tabela 4. Struktura atrybutowa skorowidzu map ryzyka powodziowego.....	49
Tabela 5. Rodzaje wersji kartograficznej map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego	50