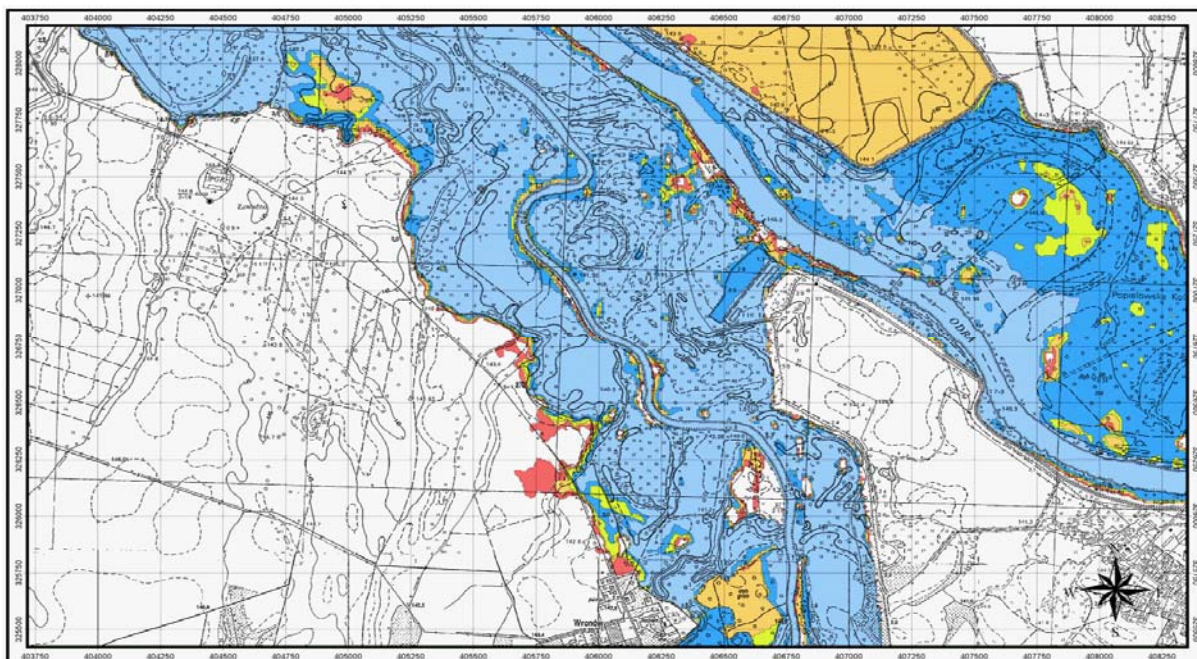




KRAJOWY ZARZĄD  
GOSPODARKI WODNEJ

---

## Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego



Sfinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu Ochrony  
Środowiska i Gospodarki Wodnej

---

Warszawa, 2009

---

Opracowanie wykonane na zlecenie:

**Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej**

Sfinansowane ze środków:

**Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej**

Zrealizowane przez:

**DHI Polska**

Zespół autorski:

**Andrzej Borowicz**

**Jan Kwiatkowski**

**Jan Spatka**

**Evzen Zeman**

**Spis treści**

<b>1. Wstęp .....</b>	<b>5</b>
1.1. Podstawa opracowania metodyki.....	5
1.2. Element większego opracowania .....	5
1.3. Zakres metodyki .....	6
1.4. Przeznaczenie metodyki .....	6
<b>2. Definicja mapy zagrożenia powodziowego .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Rodzaje stref zagrożenia powodziowego .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Wykorzystanie map zagrożenia powodziowego .....</b>	<b>10</b>
<b>5. Podstawy narzędziowe dla tworzenia map zagrożenia powodziowego .....</b>	<b>11</b>
5.1. Bazy do gromadzenia i przetwarzania danych .....	11
5.2. Modele hydrauliczne 1D .....	12
5.3. Modele hydrauliczne 2D .....	13
5.4. Modele hydrauliczne 1D/2D .....	15
5.5. Modele hydrauliczne 3D .....	15
5.6. Narzędzia GIS dla wyznaczania stref zagrożenia powodziowego .....	16
5.7. Narzędzia GIS dla kartowania stref zagrożeń powodziowych .....	17
<b>6. Podstawowe etapy tworzenia map zagrożenia powodziowego .....</b>	<b>18</b>
6.1. Budowa bazy danych wejściowych i wyjściowych .....	19
6.2. Budowa modelu hydraulicznego .....	20
6.3. Definiowanie scenariuszy powodziowych .....	21
6.4. Wyznaczanie stref zagrożenia powodziowego .....	21
6.5. Uzgadnianie stref na styku obszarów modelowania .....	21
6.6. Kartowanie map zagrożenia powodziowego .....	21
<b>7. Baza danych wejściowych i wyjściowych .....</b>	<b>22</b>
7.1. Dane wejściowe przestrzenne .....	22
7.1.1. Dane topograficzne .....	22
7.1.2. Dane geodezyjne .....	23
7.2. Dane wejściowe nie przestrzenne .....	23
7.2.1. Dane hydrologiczne .....	23
7.2.2. Dane hydrauliczne .....	23
7.3. Dane wyjściowe przestrzenne .....	23

7.4.	Dane wyjściowe nie przestrzenne.....	26
8.	Zasady modelowania powodzi .....	26
8.1.	Modelowanie 1D powodzi rzecznych.....	26
8.1.1.	Struktura geometryczna modelu .....	27
8.1.2.	Warunki brzegowe .....	27
8.1.3.	Materiały kartograficzne .....	29
8.1.4.	Przekroje poprzeczne.....	30
8.1.5.	Struktury liniowe przepływu .....	31
8.1.6.	Struktury punktowe przepływu .....	33
8.1.7.	Opory przepływu .....	35
8.1.8.	Kalibracja i weryfikacja modelu .....	37
8.1.9.	Obliczenia symulacyjne.....	41
8.2.	Modelowanie 2D powodzi rzecznych.....	41
8.2.1.	Opracowanie modeli 1D na potrzeby modelowania 2D.....	42
8.2.2.	Wprowadzenie NMT do modelu 2D .....	42
8.2.3.	Identyfikacja oporów przepływu.....	42
8.2.4.	Opracowanie modelu 2D .....	43
8.2.5.	Połączenie modeli 1D i 2D.....	44
8.2.6.	Określenie warunków brzegowych.....	45
8.2.7.	Kalibracja i weryfikacja modelu .....	46
8.2.8.	Obliczenia symulacyjne.....	46
8.3.	Modelowanie powodzi morskich .....	46
9.	Zasady tworzenia scenariuszy powodziowych.....	47
10.	Zasady wyznaczania stref zagrożenia powodziowego.....	51
11.	Zasady kartowanie map zagrożenia powodziowego.....	56
11.1.	Wizualizacja map .....	56
11.2.	Redakcja map .....	57
11.3.	Kompozycja i parametry map wzorcowych .....	57
12.	Literatura.....	65

## 1. Wstęp

---

Ideą każdej Dyrektywy Unii Europejskiej jest zobligowanie Państw Członkowskich do osiągnięcia jej celów w ustalonych ramach czasowych. Dyrektywa nie odpowiada na pytania dotyczące podejścia metodycznego, jakie zostanie zastosowane, aby osiągnąć jej cele z zachowaniem ram czasowych. Tak więc Państwa Członkowskie posiadają pełną swobodę w definiowaniu form i metod wdrażania Dyrektyw. Jedynym elementem obligatoryjnym jest transpozycja norm Dyrektyw do uregulowań prawnych Państw Członkowskich.

### 1.1. Podstawa opracowania metodyki

---

Podstawą realizacji „Metodyki opracowania map zagrożenia powodziowego” jest Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim – zwana w skrócie Dyrektywą Powodziową.

Dyrektywa Powodziowa wprowadza potrzebę opracowania przez Państwa Członkowskie (na obszarze dorzeczy) następujących dokumentów o charakterze planistycznym, stanowiących podstawę dla działań prewencyjnych:

- wstępna ocena ryzyka powodziowego,
- mapy zagrożenia powodziowego,
- mapy ryzyka powodziowego,
- plany zarządzania ryzykiem powodziowym.

Dla obszarów, na których stwierdzi się istnienie znaczącego ryzyka powodzi lub wystąpienie znaczącego ryzyka powodzi jest prawdopodobne (obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi), wyznaczonych we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego muszą zostać opracowane mapy zagrożenia powodziowego dla 3 scenariuszy związanych z prawdopodobieństwem wystąpienia powodzi:

- niskiego (lub scenariusze zdarzeń ekstremalnych),
- średniego,
- wysokiego prawdopodobieństwa.

Mapy zagrożenia powodziowego muszą zostać opracowane w ten sposób, aby uwzględniały następujące elementy dla określonych scenariuszy powodziowych:

- zasięg powodzi,
- głębokości wody lub poziomy zwierciadła wody (tam gdzie jest to stosowne),
- prędkości przepływu wody lub natężenie przepływu wody (tam gdzie jest to właściwe).

W związku z koniecznością transpozycji Dyrektywy Powodziowej do polskiego prawodawstwa, przygotowany został projekt nowelizacji ustawy Prawo wodne, transponujący jej postanowienia. Niniejsza metodyka opracowana została w oparciu o postanowienia zawarte w projekcie ustawy o zmianie ustawy Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw z dnia 04 czerwca 2009 r., będącym już po uzgodnieniach międzyresortowych.

### 1.2. Element większego opracowania

---

Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego jest elementem większego opracowania, które stanowi podstawę metodyczną dla wdrażania Dyrektywy Powodziowej w Polsce. W skład tego opracowania wchodzi różne dokumenty metodyczne, których zadaniem jest ujednolicenie postępowania w procesie realizacji wstępnej oceny ryzyka powodziowego, map zagrożenia i ryzyka powodziowego oraz planów zarządzania ryzykiem powodziowym.

Są to następujące opracowania:

- metodyka wstępnej oceny ryzyka powodziowego,
- metodyka obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ,
- metodyka opracowania produktów geodezyjnych i kartograficznych dla potrzeb wdrażania Dyrektywy 2007/60/WE w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim,
- metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego,
- metodyka opracowania map ryzyka powodziowego,
- metodyka opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym.

### 1.3. Zakres metodyki

---

Zakres opracowania niniejszej metodyki z jednej strony uwzględnia wytyczne Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, natomiast z drugiej potrzebę pragmatycznego spojrzenia na omawianą problematykę - głównie pod kątem inżynierskim i technologicznym z uwzględnieniem metodik dotyczących wstępnej oceny ryzyka powodziowego, obliczeń hydrologicznych oraz produktów geodezyjnych i kartograficznych.

Zakres opracowania obejmuje:

- definicję mapy zagrożenia powodziowego,
- typy map zagrożenia powodziowego,
- wykorzystanie map zagrożenia powodziowego,
- podstawy narzędziowe dla tworzenia map,
- podstawowe etapy tworzenia map,
- opis bazy danych niezbędnych dla tworzenia map,
- zasady hydraulicznego modelowania powodzi,
- zasady tworzenia scenariuszy powodziowych,
- zasady wyznaczania stref zagrożenia powodziowego,
- zasady kartowania map zagrożenia powodziowego,
- zestawienie literatury przedmiotu jako uzupełnienie metodyki.

### 1.4. Przeznaczenie metodyki

---

Przedmiotowa metodyka nie jest pełnym kompendium wiedzy w omawianym zakresie a jedynie zestawem wytycznych, które odpowiadają na pytanie, jak do problematyki opracowania map zagrożenia powodziowego podejść i w jaki sposób takie mapy tworzyć. Jak widać z zakresu opracowania ma ono charakter interdyscyplinarny ponieważ porusza zagadnienia dotyczące:

- baz danych,
- geodezji i kartografii,
- hydrologii statycznej i dynamicznej,
- hydrografii,
- hydrauliki koryt sztucznych i naturalnych,
- hydrauliki obiektów inżynierskich i hydrotechnicznych,
- geograficznych systemów informacji przestrzennej,
- informatycznych technologii narzędziowych.

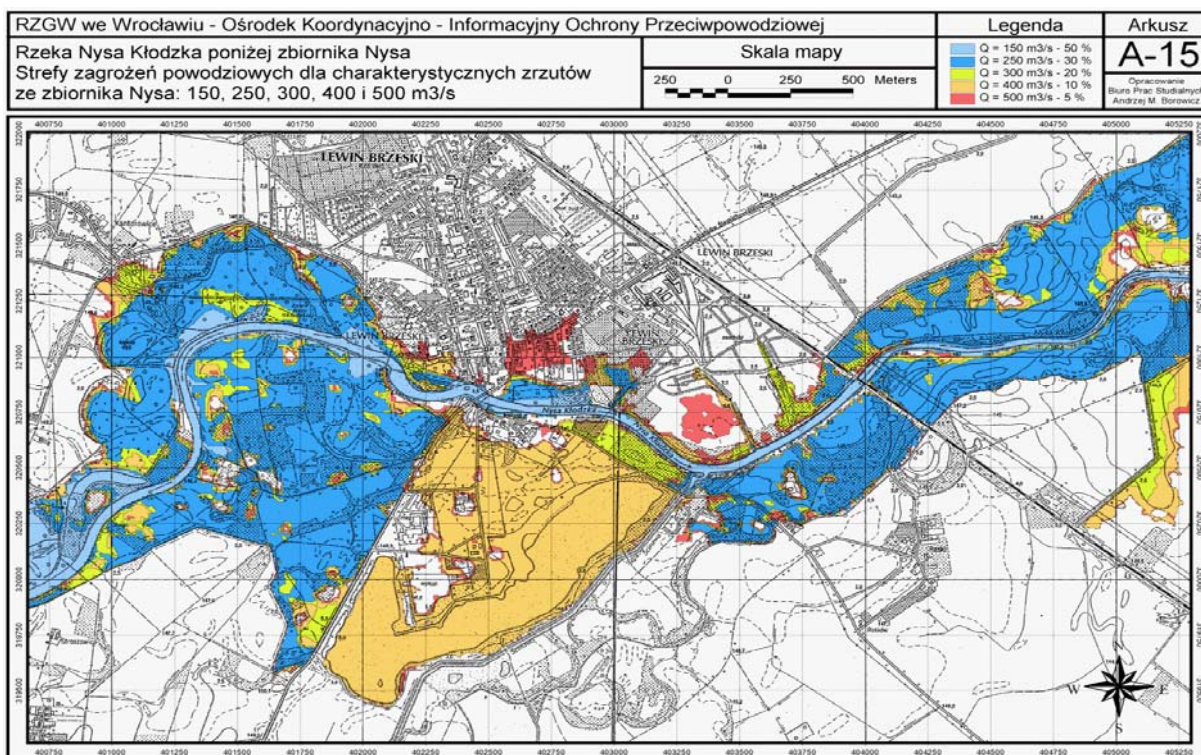
Wiedza w zakresie omawianej problematyki jest duża i dlatego też uzupełnieniem niniejszej metodyki jest spis literatury (umieszczony na końcu opracowania), który pozwoli dotrzeć do opracowań poszerzających wiedzę zawartą w tym dokumencie.



## 2. Definicja mapy zagrożenia powodziowego

Pod pojęciem mapy zagrożenia powodziowego (**Rys. 1**) (**Rys. 2**) rozumiemy opracowanie kartograficzne prezentujące przestrzenny zasięg strefy zagrożenia powodziowego, naniesionej na mapy topograficzne lub ortofotomapy. Mapa zagrożenia powodziowego przedstawia zasięg strefy zalewu powodziowego wyznaczonej w oparciu o zasady statystyki matematycznej (prezentujących wezbranie o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia) lub inny przyjęty scenariusz powodziowy (np. awaria obwałowań, zapory) oraz elementy opisowe (tytuł, rejon mapy, godło, siatka kartograficzna i metryczna, skala, strzałka północy, legenda, układ arkuszy map, układy odniesienia, miejsce i data opracowania, zleceniodawca opracowania). Strefy zagrożenia powodziowego wyznacza się dla obszarów: przybrzeżnych rzek, intensywnego spływu powierzchniowego na terenach górskich oraz nadmorskich narażonych na powódzie sztormowe.

Rys. 1 – Przykład mapy zagrożenia powodziowego nr 1



Mapa zagrożenia powodziowego może występować w formie analogowej lub w formie cyfrowej. Szczególnie przydatna jest jej forma cyfrowa, która może stanowić element systemu informacji geograficznej (GIS ang. GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM), który umożliwia szybkie i skuteczne wykonywanie zaawansowanych analiz przestrzennych w dziedzinie zagrożenia powodziowego (np. ułatwia szybkie wyznaczenie obszarów lub obiektów zagrożonych zalaniem wodami powodziowymi oraz umożliwia podjęcie działań związanych z ich zabezpieczeniem lub ewentualnym przygotowaniem na zalanie wodami powodziowymi).

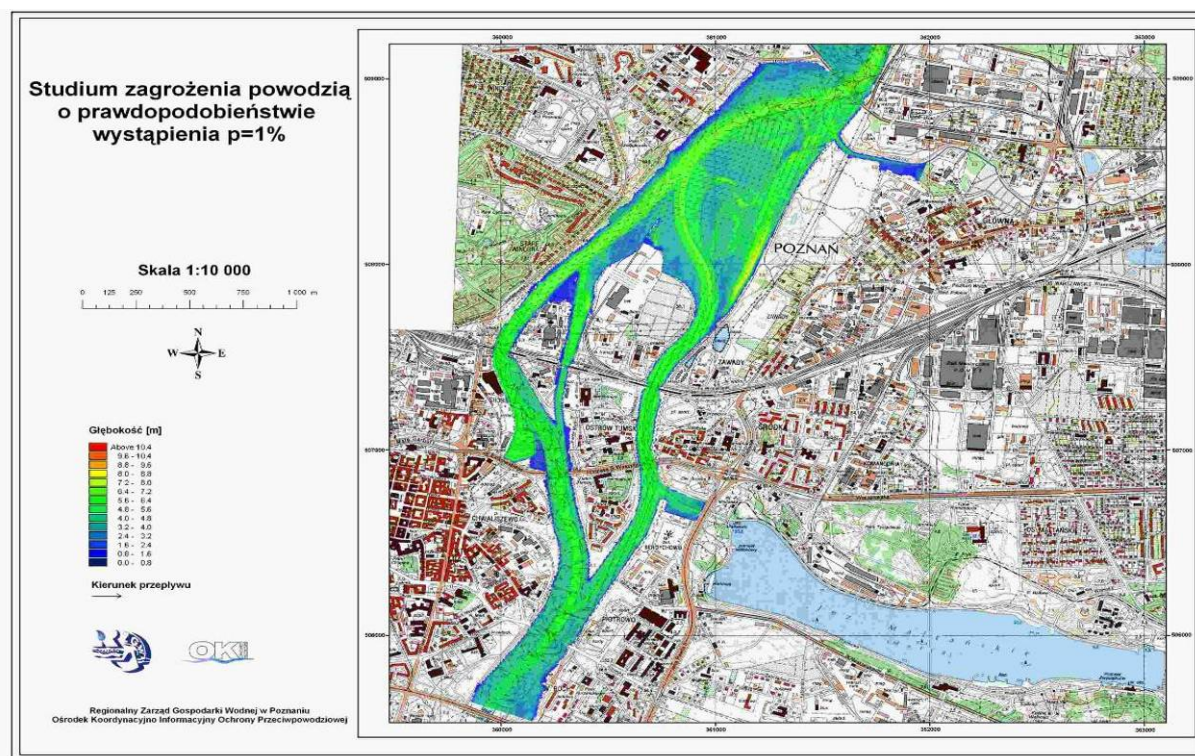
Według Dyrektywy Powodziowej oraz projektu nowelizacji ustawy Prawo Wodne, mapy zagrożenia powodziowego mają być wykonane dla obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi, określonych na podstawie wstępnej oceny ryzyka powodziowego.

Zgodnie z powyższym, mapy zagrożenia powodziowego opracowane dla potrzeb wdrażania Dyrektywy Powodziowej w Polsce mają prezentować następujące scenariusze powodziowe:

- Scenariusz I - Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(0.2\%)$  (HQ-500 lat) oraz w uzasadnionych przypadkach - scenariusze zdarzeń ekstremalnych (zasięg powodzi wywołanej katastrofą lub awarią budowli piętrzącej), dla wody  $Q(0.1\%)$  (HQ-1000 lat)
- Scenariusz II - Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(1\%)$  (HQ-100 lat),

- Scenariusz III – Wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi – Q(10%) (HQ-10 lat).

Rys. 2 – Przykład mapy zagrożenia powodziowego nr 2



### 3. Rodzaje stref zagrożenia powodziowego

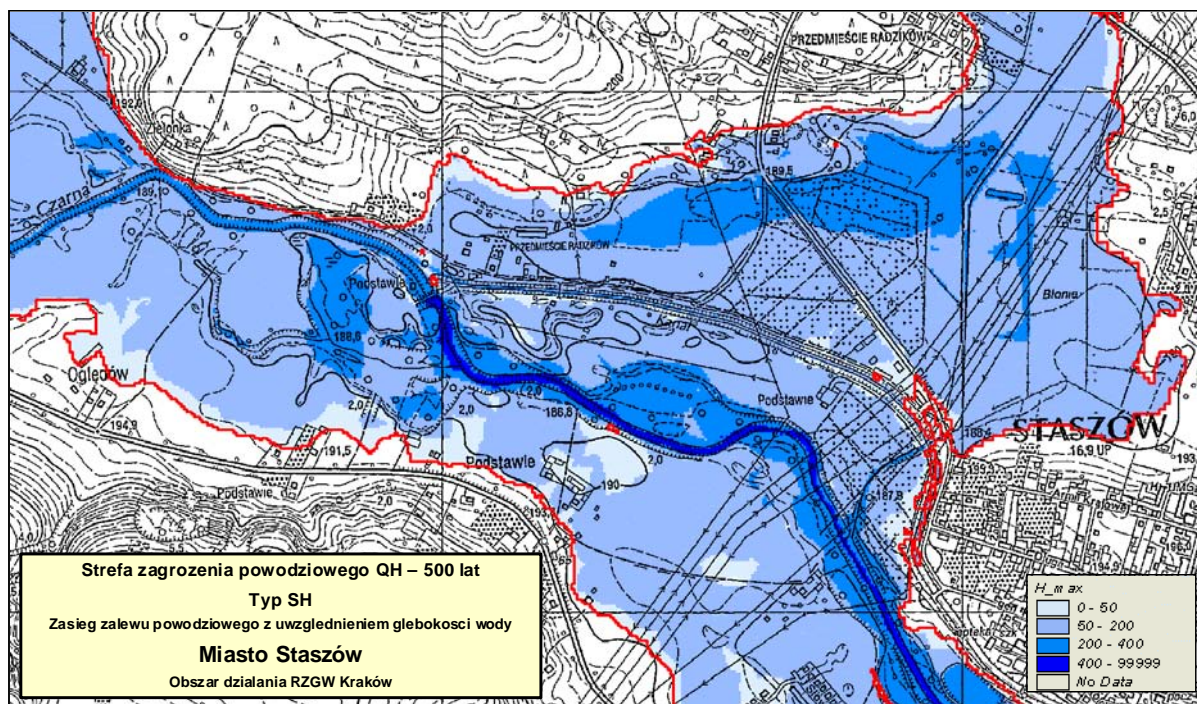
Podstawowym elementem map zagrożenia powodziowego są strefy zagrożenia powodziowego. Dyrektywa Powodziowa określa, że mapy zagrożenia powodziowego muszą zawierać następujące informacje: zasięg zalewu powodziowego, głębokości wody lub poziomy zwierciadła, prędkości lub natężenia przepływu (tam gdzie jest to właściwe). W kontekście zapisów Dyrektywy Powodziowej strefy zagrożenia powodziowego można podzielić na następujące typy i rodzaje:

- strefy zasięgu zalewu powodziowego z uwzględnieniem głębokości wody  $h$  (typ SH) (**Rys. 3**) – strefy oprócz geometrycznego zasięgu zalewu powodziowego uwzględniają rozkład głębokości lub poziomów zwierciadła wody – opracowuje się je w oparciu o modele hydrauliczne 1D lub 2D oraz wyznacza przy wykorzystaniu numerycznego modelu terenu NMT,
- strefy zasięgu zalewu powodziowego z uwzględnieniem prędkości wody  $v$  (typ SV) (**Rys. 4**) – strefy oprócz geometrycznego zasięgu zalewu powodziowego uwzględniają rozkład prędkości oraz kierunki przepływu wody – opracowuje się je w oparciu o modele hydrauliczne 2D oraz wyznacza przy wykorzystaniu numerycznego modelu terenu NMT

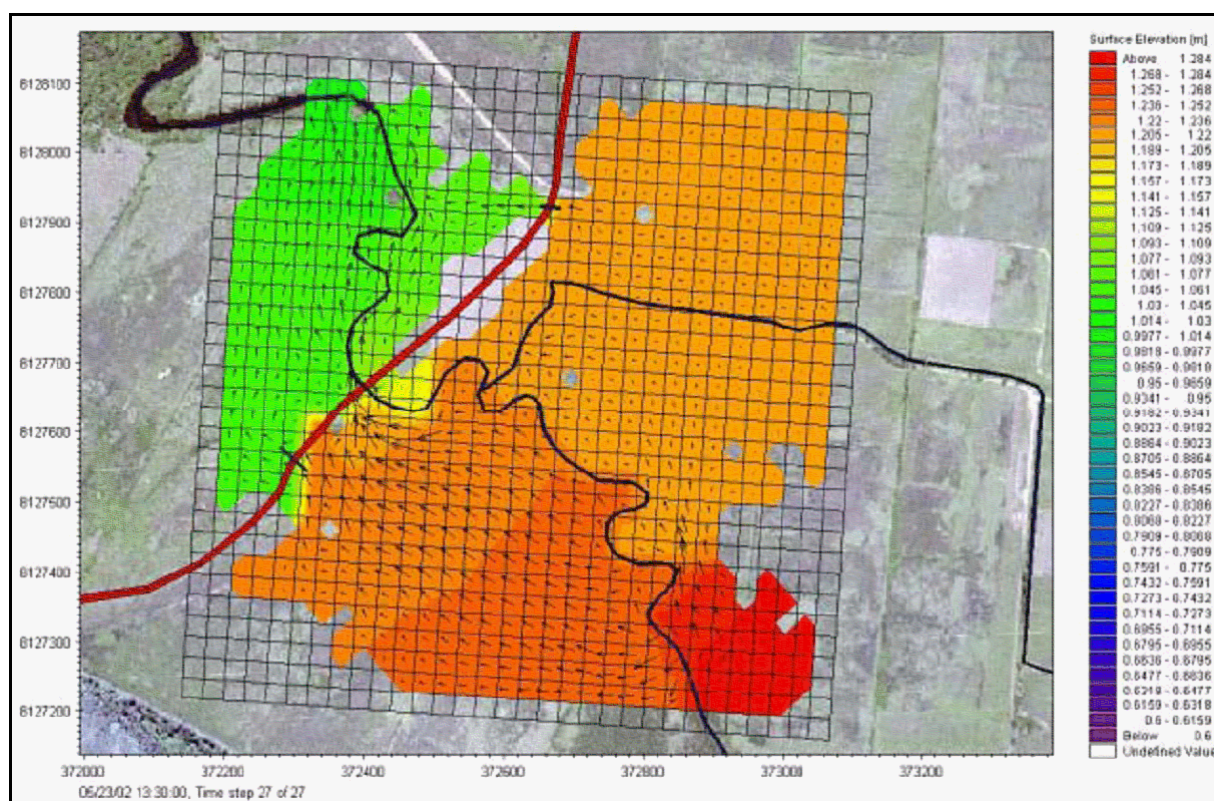
Strefy zagrożenia powodziowego typu SH i SV oprócz informacji dotyczących obszarów oraz powierzchni zagrożonych zatopieniem, dodatkowo dostarczają informacje, które dotyczą rozkładu głębokości  $h$  i prędkości  $v$  wody oraz umożliwiają określenie kierunków jej przepływu. Z praktycznego punktu widzenia ten typ stref dostarcza najpełniejszej informacji o zagrożeniu powodziowym, która może być wykorzystywana w znacznie szerszym spektrum zastosowań (np. zarządzaniu kryzysowym przy tworzeniu planów ewakuacji oraz określaniu jej priorytetów).



Rys. 3 – Przykład strefy zagrożenia powodziowego typu SH



Rys. 4 – Przykład strefy zagrożenia powodziowego typu SV



Z technologicznego punktu widzenia tworzenie stref zagrożenia powodziowego typu SH i SV wymaga zaangażowania większej ilości danych wejściowych (numeryczny model terenu NMT) oraz bardziej skomplikowanych narzędzi do modelowania hydraulicznego 2D oraz przetwarzania GIS/CAD, niż tworzenie stref typu S.

Podstawą tworzenia stref zagrożenia powodziowego typu SH i SV jest numeryczny model terenu NMT. Musi on spełnić określone kryteria jakościowe, aby mógł być wykorzystany do generowania stref zalewu.

#### 4. Wykorzystanie map zagrożenia powodziowego

---

Głównym celem opracowania i wykorzystania map zagrożenia powodziowego jest spełnienie wymogów Dyrektywy Powodziowej w zakresie „ustanowienia ram dla oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, w celu ograniczania negatywnych konsekwencji dla zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej, związanych z powodzią na terytorium Wspólnoty”.

W technicznym ujęciu podstawą opracowania map zagrożenia powodziowego jest wstępna ocena ryzyka powodziowego, której podstawową rolą jest wytypowanie obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi. Natomiast podstawą opracowania map ryzyka oraz planów zarządzania ryzykiem powodziowym są mapy zagrożenia powodziowego.

Oprócz elementów zdefiniowanych w Dyrektywie Powodziowej, mapy zagrożenia powodziowego będą wykorzystywane w celu ujednolicenia polityki państwa w zakresie zarządzania ryzykiem powodziowym. Dotyczy to następujących aspektów społecznych, gospodarczych, kulturowych i środowiskowych Polski:

- Planowanie przestrzenne – Wkład do studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego oraz miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego poprzez dostosowywanie gospodarki przestrzennej obszarów zalewowych do wymogów profilaktyki przeciwpowodziowej (zakazy, nakazy i ograniczenia dotyczące rozwoju zabudowy na terenach zagrożonych powodzią). Zgodnie z projektem ustawy Prawo Wodne - mapy uwzględniane będą również w planach zagospodarowania przestrzennego województwa oraz przy wydawaniu decyzji o lokalizacji inwestycji celu publicznego lub decyzji o warunkach zabudowy.
- Zarządzanie kryzysowe – Organizacja systemu monitoringu (osłona przeciwpowodziowa na poziomie lokalnym i ogólnokrajowym), systemu ostrzeżeń (docieranie z informacją o powodzi do jak największego kręgu odbiorców), systemu reagowania na powódź (tworzenie planów zarządzania kryzysem powodzi, planów ewakuacji z określeniem dróg i kolejności ewakuacji oraz wyłączeń ciągów komunikacyjnych, optymalizacja akcji ratunkowej, identyfikacja obiektów niebezpiecznych).
- Ubezpieczenia powodziowe – Parametryzacja stopnia ryzyka finansowego wpływającego na wysokość składki ubezpieczeniowej, element wspomagający wprowadzenie normatywów określających zasady ubezpieczenia ludzi i majątku trwałego oraz inwentarza gospodarczego na obszarach narażonych na zatopienie, ocena opłacalności produktów finansowych instytucji ubezpieczeniowych.
- Gospodarka wodna – Planowanie niezbędnego zakresu działań inwestycyjnych oraz ocena funkcjonowania już istniejących związanych z techniczną ochroną przed powodzią (wały, poldery, zbiorniki, kanały ulgi).
- Ochrona przed powodzią – Planowanie niezbędnego zakresu działań o charakterze technicznym i nietechnicznym oraz likwidacja lokalnych czynników determinujących zasięg, stopień oraz charakter zagrożenia powodziowego.
- Edukacja społeczna – Bezpośrednie, czytelne i wizualne odzwierciedlenie stopnia zagrożenia powodziowego dla terenów zamieszkałych i silnie zurbanizowanych, uświadomienie stopnia zagrożenia w celu uzyskania poparcia społecznego dla działań minimalizujących skutki powodzi o charakterze technicznym i nietechnicznym.
- Gospodarka środowiskowa – Planowanie racjonalnie ukierunkowanych zmian środowiskowych lub ocena możliwości utrzymania prawidłowego stanu środowiska w przypadku wystąpienia powodzi, ocena wpływu powodzi na środowisko naturalne.

## 5. Podstawy narzędziowe dla tworzenia map zagrożenia powodziowego

W tym punkcie metodyki przedstawiono charakterystykę stosowanych w Polsce i na świecie narzędzi do:

- gromadzenia i przetwarzania danych (bazy danych),
- modelowania hydraulicznego,
- opracowania stref zagrożenia powodziowego,
- kartowania map zagrożenia powodziowego.

### 5.1. Bazy do gromadzenia i przetwarzania danych

Przed przystąpieniem do prac związanych z tworzeniem map zagrożenia powodziowego niezbędnym jest: pozyskanie, dokonanie odpowiedniej klasyfikacji oraz archiwizacja danych w celu ich dalszego przetwarzania. Proces ten wymaga zastosowania odpowiednich programów oraz aplikacji umożliwiających pracę wszystkim użytkownikom w celu efektywnego wykorzystywania zbioru danych. Współczesne bazy danych to na ogół bazy relacyjne (RELATION DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS), charakteryzujące się schematem danych wyrażonym w postaci relacji. Każdej relacji odpowiada tablica wartości, której kolumny zawierają wartości atrybutów, a wiersze wartości elementów relacji. W praktyce mogą być stosowane dodatki oraz rozszerzone wersje programowe w celu umożliwienia zarządzania danymi przestrzennymi.

Jak wspomniano wcześniej wykorzystywanie bazy danych w procesie tworzenia map zagrożenia powodziowego wiąże się z archiwizacją dużej ilości danych oraz potrzebą wykorzystywania ich jednocześnie przez wielu użytkowników. Z tego względu powinna ona spełniać szereg wymagań - zarówno w sensie użytkowania jak również bezpieczeństwa przechowywanych informacji. Podstawową cechą jest spójność bazy danych, co oznacza, że przechowywane dane, na które nałożono pewne ograniczenia pod względem integralności danych muszą te ograniczenia spełniać. W związku z powyższym gromadzone dane powinny być odporne na błędy i anomalie będące wynikiem m.in. współbieżności dostępu lub awarii sprzętowo-programowych. W przypadku uszkodzenia lub utracenia danych, system powinien zapewnić możliwość odtwarzania wcześniej archiwizowanych danych. Nie mniej ważnym wymaganiem jest zapewnienie efektywnego przetwarzania danych, związanego z: powiększaniem gromadzonych zasobów, modyfikowaniem oraz usuwaniem istniejących danych. W tym celu niezbędnym jest zapewnienie efektywnych metod dostępu do danych poprzez wykorzystanie specjalnych struktur i optymalizacji metod dostępu. Sam dostęp z kolei winien być kojarzony (tylko i wyłącznie) z odpowiednio uprawnionymi użytkownikami bazy danych (na podstawie unikalnej identyfikacji). Użytkownicy wykorzystując swoje uprawnienia mogą jednocześnie pracować z tym samym zbiorem danych wykonując różne operacje jednocześnie.

Jednym z najważniejszych elementów bazy danych są dane o zebranych danych, czyli metadane. Metadane powinny zawierać możliwie najpełniejszy opis cech zbioru danych. Dla poprawnego i efektywnego zarządzania metadanymi oraz ich powszechnego wykorzystywania, niezwykle istotnym jest by były one jednoznaczne w swojej postaci i zawartości (niezależnie od tego przez kogo i w jakim systemie zostały utworzone). Nawet metadane najdokładniej oddające charakterystykę opisywanego zbioru nie mogą być podstawą porównania czy też obiektywnej oceny, dopóki zasady ich budowy nie będą takie same (lub przynajmniej zbliżone we wszystkich systemach). Warunek ten może zapewnić zgodność systemu metadanych z ogólnie przyjętym światowym standardem.

Jedną z najbardziej popularnych baz danych jest system ORACLE, który z powodzeniem może być wykorzystywany zarówno przez duże komputery, jak również mniejsze jednostki, pod różnymi systemami operacyjnymi. Sporym ułatwieniem w obsłudze jest rozbudowane oprogramowanie narzędziowe przydatne w projektowaniu i zarządzaniu bazy. Oprogramowanie RDBMS ORACLE oparte jest na języku SQL, standardowym języku zapytań dla relacyjnych baz danych, uznanym za standard przez AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. Wśród wielu wersji ORACLE można wyróżnić wersje starsze 7.x/8.x oraz nowsze 9i/9i w wersji 2. Obecnie najnowszymi są wersje ORACLE DATABASE 10g oraz 11g, które (jak podaje producent) są blisko dwukrotnie bardziej wydajne w porównaniu z ORACLE 9i w wersji 2. W wersjach tych zastosowano technologię przetwarzania danych w sieci grid (ENTERPRISE GRID COMPUTING). Koncepcja tego typu przetwarzania zakłada



połączenie modułowych systemów pamięci masowej i serwerów w duże pule zasobów. System ten został znacznie unowocześniony i ulepszony dostosowując się do wymogów w zakresie bezpieczeństwa i zarządzania danymi.

Podstawowa wersja serwera bazodanowego ORACLE (STANDARD EDITION) jest przeznaczona dla systemów średniej i małej wielkości. Dla najbardziej wymagających użytkowników oferowana jest wersja ENTERPRISE EDITION, która oprócz funkcjonalności podstawowej zaopatrzona jest w wiele opcji dodatkowych. W skład pakietu ORACLE DATABASE 11g wchodzi także ORACLE ENTERPRISE MANAGER - zestaw narzędzi do zarządzania kompletną infrastrukturą informatyczną przedsiębiorstwa: aplikacjami biznesowymi, usługami oraz architekturą systemową oraz sprzętową.

Kolejną liczącą się na rynku firmą, oferującą kompletny system informatyczny jest MICROSOFT. Firma ta zaproponowała produkt o nazwie SQL SERVER w kolejnych wersjach m.in. starsze SQL SERVER 2000 (8.0), SQL SERVER 2005 (9.0) oraz najnowsza wersja SQL SERVER 2008 (10.0). System ten umożliwia budowanie systemów do zarządzania danymi o dowolnej skali. Wśród wielu udogodnień ważną własnością systemu jest możliwość centralizowania i konsolidacji informacji ze wszystkich systemów i aplikacji (bez względu na typ i format danych). W porównaniu z poprzednią wersją zapewnia większe możliwości ochrony danych oraz wykorzystując mechanizmy kompresji danych ich szybszą archiwizację. System SQL SERVER 2008 oferowany jest m. in. pełnej wersji ENTERPRISE oraz uproszczonej STANDARD.

Wysoko wydajnym systemem zarządzania relacyjnymi bazami danych jest ADAPTIVE SERVER ENTERPRISE (ASE) oferowany przez producenta SYBASE. Efektywna architektura wielowątkowa, wewnętrzna równoległość przetwarzania oraz optymalizacja zapytań zapewniają wysoką wydajność oraz skalowalność. ASE oferuje również integrację danych. Zapewnia wydajną technologię dostępu oraz przenoszenia danych, obsługę rozproszonych transakcji oraz zapytań pomiędzy bazami danych SYBASE i innych dostawców. SYBASE ponadto oferuje system zarządzania bazami SQL ANYWHERE przeznaczony zarówno dla rozbudowanych systemów bazodanowych, jak i małych rozwiązań desktopowych oraz aplikacji mobilnych działających w środowiskach rozproszonych. Oba te produkty spełniają szereg wymagań z zakresu wydajności, integralności zarządzania, bezpieczeństwa i dostępności.

Do grona największych firm zajmujących się systemami baz danych zaliczyć można również IBM, która w swojej ofercie proponuje m.in. bazy danych IBM DB2 v9.5. Oprogramowanie to przedstawiane jest w trzech komercyjnych edycjach: EXPRESS, WORKGROUP oraz ENTERPRISE. Wszystkie edycje DB2 oparte zostały o ten sam kod, różniąc się ograniczeniami licencyjnymi wynikającymi z zastosowanej platformy sprzętowej oraz komponentów. Niezależnie od edycji oprogramowania zastosowano te same zestawy graficznych narzędzi administracyjnych dostępnych w języku polskim.

## **5.2. Modele hydrauliczne 1D**

---

Hydrauliczne modele typu 1D należą do najbardziej rozpowszechnionych narzędzi do modelowania przepływu wody w korytach otwartych.

Wśród różnych form przepływu wód ze swobodnym zwierciadłem wody, przypadek przepływu w sieci koryt daje podstawę do sformułowania założenia jednowymiarowości zjawiska (1D). Wynika to ze specyficznych właściwości rzeki. Rzeka jest strukturą, której wymiary geometryczne pozostają w wielkiej dysproporcji względem siebie. Oznacza to, że miary szerokości i głębokości rzeki są nieporównywalne do jej długości. Wpływa to na to, że zasadniczo w korytach rzek woda przemieszcza się wzdłuż ich osi. Przepływy w kierunkach prostopadłych do niej (pomijając przypadki szczególne) nie mają większego znaczenia. Zmienność rozkładu prędkości w przekroju poprzecznym jest na tyle mała, że można założyć jego jednostajność. Jednowymiarowość zjawiska powoduje, że do jego opisu stosuje się równania z jedną zmienną przestrzenną ( $x$ ). Drugą zmienną zależną może być czas ( $t$ ) - wystąpi ona, gdy badany proces jest nieustalony.

Tak więc w przypadku modeli 1D mamy do wyboru dwa ich rodzaje: modele ruchu ustalonego i nieustalonego. Model 1D podaje wyniki obliczeń jedynie w płaszczyźnie przekroju poprzecznego

go a wyniki obliczeń zwykle są zestawiane w formie profilu podłużnego. Obliczenia mogą być przeprowadzane dla przepływów ustalonych albo nieustalonych (fal powodziowych). Obliczenia przy przepływie nieustalonym wymagane są tylko wówczas, gdy rozwój sytuacji powodziowej musi być ujęty w jego przebiegu czasowym, albo istotny jest wpływ struktur retencyjnych na transformację fali powodziowej (tereny zalewowe, poldery, zbiorniki).

Poniżej, w formie tabelarycznej, zestawiono podstawową charakterystykę stosowanych (na szerszą skalę) w Polsce narzędzi do modelowania hydraulicznego 1D.

Tab. 1 – Narzędzia do modelowania hydraulicznego 1D stosowane w Polsce

Model	MIKE 11 HD	HEC-RAS	SOBEK 1D
Typ ruchu	ustalony / nieustalony	ustalony / nieustalony	ustalony / nieustalony
Stany przepływów	spokojny / rwący	spokojny / rwący	spokojny / rwący
Opis szorstkości	MANNING STRICKLER	MANNING STRICKLER	MANNING STRICKLER
Ograniczenia wielkości modelu	Licencje dla różnych wielkości modeli	maks. 500 punktów terenowych na profil poprzeczny	nieograniczona (czynnik limitujący: pamięć robocza względnie czas obliczeń)
Rozgałęzienia i dopływy boczne	Układy rozgałęzione są możliwe	Układy rozgałęzione są możliwe	Układy rozgałęzione są możliwe
Dystrybucja	<a href="http://www.dhi.pl">http://www.dhi.pl</a>	<a href="http://www.hec.usace.army.mil">http://www.hec.usace.army.mil</a>	<a href="http://www.sobek.nl">www.sobek.nl</a>

### 5.3. Modele hydrauliczne 2D

Modelowanie za pomocą narzędzi 2D stosuje się w przypadkach, gdzie ograniczenia modelowania 1D bezpośrednio rzutują na wyniki lub gdy granice zastosowania modeli 1D zostaną osiągnięte.

Jeśli konieczne jest zastosowanie dwuwymiarowego modelowania hydrodynamicznego celem dokładniejszej symulacji zjawisk przepływu i odpływu, to należy zastosować uśrednione równania głębokości 2D (w skrócie – równania wód płytkich). Równania te uwzględniają (poza przemieszczaniem się wody wzdłuż osi rzeki) również przepływy w kierunkach prostopadłych do niej. Dwuwymiarowość zjawiska powoduje, że do jego opisu stosuje się równania z dwoma zmiennymi przestrzennymi ( $x$ ,  $y$ ). Trzecią zmienną zależną może być czas ( $t$ ).

Obliczenia dwuwymiarowe (podobnie jak obliczenia 1D) mogą przebiegać jako ustalone jak i nieustalone. Założeniem do symulacji przepływu 2D jest zbudowanie siatki obliczeniowej. Jako sposób rozwiązania stosowane są z metody: elementów skończonych, różnic skończonych albo objętości skończonych powiązane z różnymi rodzajami dyskretyzacji przestrzennej (z reguły siatki TIN/GRID).

Pracochłonność tworzenia modeli 2D jest większa niż modeli 1D. Odnosi się to w szczególności do następujących elementów:



- wykonania NMT,
- przystosowywania NMT dla potrzeb siatki obliczeniowej modelu 2D,
- wytworzenia NMT koryta,
- tworzenia warstwy przestrzennego rozkładu szorstkości,
- obsługi zapisu warunków brzegowych,
- ujęcia budowli hydrotechnicznych w modelu.

Wymaga to precyzyjnego odzwierciedlenia wszystkich istotnych elementów modelu. Pracochłonność kalibracji modelu 2D jest w zasadzie porównywalna z modelem 1D, natomiast czas trwania obliczeń znacznie się różni. Obliczenia modelu 2D (w przeciwieństwie do obliczeń modelu 1D) zabierają nie kilka minut, lecz mogą trwać godzinami a nawet dniami.

Jednak zastosowanie modelowania 2D oferuje możliwości i rodzaje wyników obliczeń nie do uzyskania podczas procesu 1D. Jest to czasami niezbędne do prawidłowej oceny sytuacji związanej z zagrożeniem powodziowym. W wyniku modelowania hydraulicznego 2D można ustalić takie parametry jak:

- czas trwania zalewów,
- punktowe prędkości i kierunki przepływów,
- rozkład głębokości,
- podział przepływu w korycie i terenach zalewowych,
- wielkość retencji.

Poniżej, w formie tabelarycznej, zestawiono podstawową charakterystykę stosowanych (na szerszą skalę) w Polsce narzędzi do modelowania hydraulicznego 2D.

Tab. 2 – Narzędzia do modelowania hydraulicznego 2D stosowane w Polsce

Model	MIKE 21	INFOWORKS 2D	SMS	BCE 2D
Typ ruchu	ustalony i nieustalony	ustalony i nieustalony	nieustalony (ustalony przez hydrogram ze stałym przepływem)	ustalony i nieustalony
Jądro obliczeniowe	uśrednione równania wód płytkich	uśrednione równania wód płytkich	RMA2 (uśrednione równania wód płytkich)	RMA2 (uśrednione równania wód płytkich)
Metoda rozwiązania	jawna	jawna metoda kroków czasowych (RUNGE - KUTTA)	jawna metoda kroków czasowych (RUNGE - KUTTA)	Metoda NEWTONA - RAPHSONA
Opis szorstkości	MANNING albo CHEZY	MANNING - STRICKLER i DARCY - WEISBACH z oddzielnym porostem	MANNING - STRICKLER i DARCY - WEISBACH z oddzielnym porostem	MANNING - STRICKLER i DARCY - WEISBACH z oddzielnym porostem
Stan brzegowy	z brzegowym stanem wody	z terenem początkowo suchym	z terenem początkowo suchym	z terenem początkowo suchym
Ograniczenia wielkości modelu	bez ograniczeń (czynnik limitujący: pamięć robocza albo czas obliczeń)	bez ograniczeń (czynnik limitujący: pamięć robocza albo czas obliczeń)	bez ograniczeń (czynnik limitujący: pamięć robocza albo czas obliczeń)	bez ograniczeń (czynnik limitujący: pamięć robocza albo czas obliczeń)
Dystrybucja	<a href="http://www.dhi.pl">www.dhi.pl</a>	<a href="http://www.wallingfordsoftware.com">www.wallingfordsoftware.com</a>	<a href="http://www.ems-i.com">www.ems-i.com</a>	<a href="http://www.bjoernsen.de">www.bjoernsen.de</a>

#### 5.4. Modele hydrauliczne 1D/2D

Przy modelowaniu wielkoobszarowych, złożonych układów wód można napotkać trudności związane z ustaleniem zastosowania konkretnego typu modelu. W tym przypadku zastosowanie modeli sprzężonych może okazać się odpowiednim wyborem. Szczególnie przy dużych obszarach, na których drogi przepływu wód powodziowych są w dużym stopniu nieznane. W takim przypadku korzystne może być zastosowanie kombinowanych modeli 1D/2D. W przypadku modelowania 1D/2D rozkład akcentów obliczeniowych jest następujący:

- modele 1D wystarczają do modelowania procesów przepływu zachodzących w korycie,
- modele 1D nie są wystarczająco precyzyjne by dokładnie modelować procesy przepływu na terenach zalewowych,
- na terenach zalewowych niezbędne jest (z powodów dokładności) zastosowanie modeli 2D,
- całkowite modelowanie za pomocą 2D nie jest technicznie wykonalne ani merytoryczne uzasadnione.

W przypadku modelowania hydraulicznego 2D decydującą rolę, dla odwzorowania linii zalewu, ma dynamika przepływu między korytem i terenem zalewowym. Przypadki takie zachodzą np. wówczas, gdy mamy do czynienia z zalewaniem terenów silnie zurbanizowanych.

Jedną z możliwości zastosowania sprzężenia modeli 1D/2D jest połączenie modelu 1D koryta rzeki z modelem 2D terenu zalewowego. Sprzężenie modelu 1D z modelem 2D następuje przy wystąpieniu wody z brzegów lub po przekroczeniu przez stan wody linii rozgraniczającej obszary modelowe.

Poniżej, w formie tabelarycznej, zestawiono podstawową charakterystykę stosowanych (na szerszą skalę) w Polsce narzędzi do modelowania hydraulicznego 1D/2D.

Tab. 3 – Narzędzia do modelowania hydraulicznego 1D/2D stosowane w Polsce

	MIKE FLOOD	SOBEK	INFOWORKS RS
Typ ruchu	nieustalony	nieustalony	nieustalony
Rozszerzenie 1D	MIKE 11 HD	SOBEK-RURAL 1D OPEN-CHANNEL FLOW	ISIS
Rozszerzenie 2D	MIKE 21	SOBEK-RURAL 2D OVER-LAND FLOW	INFOWORKS 2D
Dystrybucja	<a href="http://www.dhi.pl">www.dhi.pl</a>	<a href="http://www.sobek.nl">www.sobek.nl</a>	<a href="http://www.wallingfordsoftware.com">www.wallingfordsoftware.com</a>

#### 5.5. Modele hydrauliczne 3D

Cechą charakterystyczną modelowania hydraulicznego 3D jest to, że oprócz poziomego (płaskiego) rozkładu prędkości przepływu wody, otrzymujemy dodatkowo rozkład pionowy. W zakresie potrzeb związanych z tworzeniem map zagrożenia powodziowego taka informacja jest zbędna i nie wnosi żadnej dodatkowej i istotnej informacji dla oceny zagrożenia powodziowego.

Należy jedynie wspomnieć, że modelowanie 3D charakteryzuje się bardzo wysokim kosztem wykonania i jest używane do analiz o charakterze lokalnym (np. przy projektowaniu budowli hydrotechnicznych czy komunikacyjnych gdzie pionowy rozkład prędkości ma ogromne znaczenie dla prawidłowej oceny pracy projektowanego obiektu).

## 5.6. Narzędzia GIS dla wyznaczania stref zagrożenia powodziowego

W wyniku przeprowadzenia obliczeń na modelach hydraulicznych otrzymuje się zasób danych wynikowych. W praktyce dane wynikowe są ściśle powiązane z wykorzystanymi w procesie obliczeń hydraulicznych danymi wejściowymi. W przypadku wykonywania obliczeń wyłącznie w oparciu o przekroje poprzeczne (modelowanie 1D), uzyskiwany będzie jeden zasób danych wyjściowych. Natomiast w przypadku, gdy wykorzystywane będą dane pochodzące z numerycznego modelu terenu (modelowanie 2D), wynikiem będzie inny zasób danych wyjściowych. Oznacza to, iż wyróżnić można dwa różne podejścia do zagadnień związanych z wykorzystywaniem danych wynikowych z modelowania hydraulicznego 1D i 2D.

W wariantcie pierwszym podstawą są dane dotyczące wartości rzędnych zwierciadła wody w przekrojach obliczeniowych uwzględnionych podczas obliczeń hydraulicznych. Zasób danych wynikowych uzyskanych w ramach tego wariantu, umożliwia wyznaczenie stref zalewowych poprzez tradycyjne podejście do problemu. Wyznaczanie granic stref zalewowych wykonuje się zatem na podstawie obliczonych rzędnych zwierciadła wody przyporządkowanych odpowiednim izoliniom usytuowanym w przestrzeni. W oparciu o rzędne odpowiadające maksymalnemu poziomowi zwierciadła wody oraz dane wysokościowe odczytane z rastrów map topograficznych możliwe jest (wykorzystując podstawowe funkcje programów GIS) wyznaczenie granic stref zagrożenia powodziowego. Podejście to jest niestety bardzo czasochłonne i wymaga znacznego nakładu pracy.

Zastosowanie numerycznych modeli terenu do matematycznego modelowania przepływu wód wielkich w znacznym stopniu wpłynęło na wykorzystywanie technik GIS w procesie wyznaczania stref zalewowych.

Wśród programów służących do obliczeń transformacji przepływów w korytach otwartych można wyróżnić trzy podstawowe grupy:

- Do pierwszej zaliczają się programy, których dane wynikowe powinny zostać odpowiednio przetransformowane do formatu umożliwiającego wizualizację wyników oraz w dalszej kolejności wyznaczenia stref zalewowych (INTERCHANGE METHOD).
- Drugą grupę stanowią programy, które poprzez dedykowane aplikacje umożliwiają bezkonfliktowy zapis danych wejściowych i odczyt danych wynikowych modelowania w programach GIS (INTERFACE METHOD).
- Do trzeciej grupy zaliczają się programy, które posiadają wbudowane narzędzia do edycji i odpowiedniej wizualizacji danych wynikowych (INTEGRATION METHOD).

Do niedawna większość programów modelujących procesy związane z transformacją wody w korytach otwartych była programami kwalifikowanymi do grupy pierwszej. Ostatnie lata przyniosły jednak zmiany i pojawiły się tzw. pakiety programów.

Przykładem może być popularny HEC-RAS opracowany i rozwijany przez U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (model 1D), do którego zaproponowano aplikację o nazwie GEORAS. Aplikacja ta umożliwia bezkonfliktowy przekaz danych z programu ARCINFO/ARCVIEW (Amerykańskiej firmy ESRI) do HEC-RAS oraz import danych wynikowych modelowania do ARCINFO/ARCVIEW.

Kolejnym przykładem takiego pakietu oprogramowania jest MIKE11 opracowany i rozwijany przez DHI - DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (model 1D), który dzięki modułowi MIKE11 GIS umożliwia dynamiczną prezentację wyników obliczeń za pomocą oprogramowania ARCINFO/ARCVIEW.

Z kolei FLO-2D produkt Amerykańskiej firmy TETRA TECH (za pośrednictwem którego można przeprowadzić obliczenia przepływu wody w m.in. w kanałach otwartych) prezentuje wyniki za pośrednictwem programów do wizualizacji MAXPLOT oraz MAPPER. Dodatkowo MAPER pozwala na eksport danych wynikowych (pliki Shp) umożliwiając ich wizualizację w ARCGIS.

Przykładem zastosowania komercyjnych i jednocześnie rozbudowanych oraz profesjonalnych narzędzi służących do wyznaczania stref zagrożenia powodziowego jest aplikacja IT GIS OKI wykorzystywana w Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej. Aplikacja ta zaimplementowana została na platformie GEOMEDIA firmy INTERGRAPH. Jej podstawowym zadaniem jest integracja systemu

informatycznego, a w szczególności zautomatyzowanie procesu związanego z przygotowywaniem danych wejściowych do modelu hydraulicznego oraz automatyczne pozyskiwanie wraz z wizualizacją i kartowaniem danych wynikowych pochodzących z modelowania. Aplikacja ta współpracuje z modelem jednowymiarowym MIKE11.

Trzecią grupę tworzą programy, które charakteryzują się pełną integralnością modułów związanych z modelowaniem z modułami GIS. Przykładem tej grupy programów jest SMS - SURFACE WATER MODELING SYSTEM, który umożliwia przeprowadzenie obliczeń przepływu wody w modelu jedno, dwu i trójwymiarowym. SMS posiada wbudowany moduł mapowy (MAP MODULE) dysponujący narzędziami umożliwiającymi import, edycję oraz przetwarzanie danych GIS. SMS umożliwia także prezentację danych wynikowych bez potrzeby wykorzystywania zewnętrznych programów GIS.

Przykładem oprogramowania należącego do omawianej grupy są produkty DHI. Należy do nich m.in. program MIKE 3 oraz MIKE FLOOD, który jest kombinacją modelu jedno i dwu wymiarowego. Firma ta oferuje moduł pozwalający w łatwy sposób wizualizować dane wynikowe pochodzące z obliczeń na modelu i prezentować je dynamicznie na arkuszach rastrowych wraz z klasami wektorowymi.

Kolejnym przykładem w pełni zintegrowanego oprogramowania modelującego przepływy w rzekach, kanałach oraz terenach zalewowych jest platforma INFOWORKS RS, angielskiej firmy WALLINGFORD SOFTWARE. INFOWORKS RS wykonuje obliczenia w oparciu o oprogramowanie ISIS angielskiej firmy HALCROW GROUP LIMITED. Platforma ta umożliwia wykonywanie obliczeń na modelu jedno i dwuwymiarowym zapewniając kompletne narzędzia GIS do prezentacji danych wynikowych poprzez użycie podkładów rastrowych oraz innych danych przestrzennych, które bez przeszkód mogą zostać importowane.

Z kolei firma BOSS INTERNATIONAL zaproponowała produkt o nazwie RIVERCAD. Za pośrednictwem RIVERCAD użytkownicy w łatwy sposób mogą wykorzystywać do obliczeń popularny program HEC-RAS. Poprzez funkcjonalność programu AUTOCAD możliwe jest przygotowanie danych wejściowych modelu obliczeniowego. Uruchomienie obliczeń na modelu matematycznym następuje wprost z programu AUTOCAD. Dane wynikowe po przeprowadzonych obliczeniach mogą zostać zaprezentowane w tym samym środowisku.

### 5.7. Narzędzia GIS dla kartowania stref zagrożeń powodziowych

Współczesna prezentacja danych wynikowych z modelowania matematycznego (w postaci stref zagrożenia powodziowego wraz z wizualizacją głębokości zalewu, identyfikacją zagrożonych obiektów oraz innych informacji przestrzennych będących wynikiem analiz) umożliwiona jest dzięki zastosowaniu odpowiednich narzędzi GIS. Obecnie można wyróżnić wiele produktów służących do pracy z systemami GIS. Poniżej scharakteryzowano najbardziej popularne narzędzia.

Jednym z największych producentów na świecie jest amerykański ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI) oferująca profesjonalne programy GIS. Najbardziej rozbudowanym jest ARCINFO, które jest zaawansowanym funkcjonalnie stadium, rodziny oprogramowania ARC-GIS. ARCINFO obejmuje pełną funkcjonalność ARCVIEW i ARCEDITOR oraz ARCREADER. W ARCGIS możliwa jest rozbudowa programu podstawowego o odpowiednie rozszerzenia programowe. Do najważniejszych należą:

- ARCGIS SPATIAL ANALIST – umożliwiający zaawansowane analizy przestrzenne na danych rastrowych i wektorowych,
- ARCGIS 3D ANALIST – oferujący trójwymiarową wizualizację, analizy topograficzne oraz tworzenie modeli powierzchni,
- ARCGIS GEOSTATISTICAL ANALIST – narzędzie statystyczne służące do badania danych, modelowania oraz generowania zaawansowanych modeli powierzchni.

Kolejną liczącą się na rynku światowym jest amerykańska firma INTERGRAPH oferująca pakiet programów GIS. Podstawową platformą jest program GEOMEDIA, natomiast rozszerzoną wer-

sją GEOMEDIA PROFESSIONAL. Podobnie jak w oprogramowaniu ESRI istnieje możliwość rozbudowy o specjalistyczne narzędzia:

- GEOMEDIA GRID - pozwala między innymi na analizy charakterystyki przepływu, widoczności, analizy powierzchni, wizualizacje 3D, konwersje między strukturą gridową i wektorową,
- GEOMEDIA IMAGE - narzędzie do obróbki obrazów, posiada zaawansowane funkcje manipulacji geometrią i cechami radiometrycznymi.
- GEOMEDIA TERRAIN - narzędzie do obsługi numerycznego modelu terenu umożliwiające m.in. generowanie warstw, wizualizację poprzez cieniowanie lub kodowanie kolorami, wizualizację profili,
- GEOINTEGRATOR – narzędzie do katalogowania i natychmiastowego wykorzystania danych (wektorowych oraz rastrowych) oraz formułowania np. zapytań, analiz (w celu późniejszego ich wykorzystywania).

MapInfo to kolejny amerykański produkt GIS stworzony i wciąż rozbudowywany przez firmę PITNEY BOWES BUSINESS INSIGHT. MAPINFO jest profesjonalnym programem GIS pozwalającym na tworzenie geograficznych baz danych oraz umożliwiającym zarządzanie i analizę danych przestrzennych. Wyposażony jest we wszystkie narzędzia niezbędne do tworzenia i edycji nowych warstw tematycznych. Aby tworzyć i analizować warstwy rastrowe w programie MAPINFO, należy korzystać z nakładki VERTICAL MAPPER. Jest to aplikacja stworzona dla MAPINFO przez firmę NORTHWOOD GEOSCIENCE. Programy te, określane są mianem "DYNAMIC DUO" i stanowią narzędzie GIS, w którym możliwości wektorowego MAPINFO PROFESSIONAL uzupełnione są rastrowymi analizami VERTICAL MAPPERA. VERTICAL MAPPER posiada szereg metod interpolacji siatek z wykorzystaniem punktów pomiarowych co pozwala na generowanie numerycznego modelu terenu. Możliwa jest trójwymiarowa wizualizacja siatek z leżącymi na niej warstwami wektorowymi. MAPINFO oferuje również możliwość rozbudowy, dzięki językowi programowania MAPBASIC. Użytkownik może zaprogramować zupełnie nowe funkcje, zmieniając interfejs MAPINFO. MAPBASIC umożliwia także łączenie MAPINFO PROFESSIONAL z innymi aplikacjami tak, aby usprawnić ich współpracę.

Ciekawym pakietem programowym do analizy i przetwarzania danych przestrzennych jest ERDAS IMAGINE amerykańskiej firmy ERDAS. Pakiet ten służy przede wszystkim do opracowywania, przetwarzania i wykorzystywania obrazów satelitarnych, zdjęć lotniczych, obrazów radarowych oraz danych GIS. Oprogramowanie to jest w pełni zintegrowane z oprogramowaniem GIS oraz formatami ESRI. ERDAS oferując trzy pakiety: IMAGINE ESSENTIALS, ADVANTAGE oraz najbardziej rozbudowany PROFESSIONAL.

Z kolei program MICROSTATION to pakiet programów typu CAD zaprojektowany przez amerykańską firmę BENTLEY SYSTEMS. Funkcjonalność MICROSTATION może zostać poszerzona np. poprzez zastosowanie modułu BENTLEY MAP – kompletnego systemu GIS służącego do tworzenia danych geoprzestrzennych, ich aktualizację i prowadzenie analiz. BENTLEY umożliwia również wybór wielu pakietów programowych – nakładek, które mogą być wykorzystywane na platformie MICROSTATION.

Kolejnym programem typu CAD jest AUTOCAD stworzony przez firmę AUTODESK. Firma ta proponuje obecnie pakiety programowe takie jak AUTOCAD CIVIL 3D czy AUTOCAD MAP 3D, które pełnią funkcję platform do prac inżynierskich związanych z tworzeniem i zarządzaniem szerokim wachlarzem danych przestrzennych. Program ten umożliwia edycję, analizę szeregu danych CAD lub GIS umożliwiając odczyt i zapis danych w dużej gamie standardowych formatów plików.

## 6. Podstawowe etapy tworzenia map zagrożenia powodziowego

Tworzenie map zagrożenia powodziowego to skomplikowany proces, który składa się z 7 podstawowych i zależnych od siebie etapów. Każdy z etapów wymaga dużej ilości danych oraz profesjonalnej wiedzy osób odpowiedzialnych za wykonanie w zakresie: baz danych, modelowania hydraulicznego, hydrologii oraz narzędzi GIS i CAD. W procesie tworzenia map zagrożenia powodziowego możemy wyróżnić następujące etapy:

- Budowa bazy danych wejściowych i wyjściowych.



- Budowa modelu hydraulicznego.
- Definiowanie scenariuszy powodziowych.
- Wykonanie obliczeń hydraulicznych zgodnie z przyjętymi scenariuszami powodziowymi.
- Wyznaczanie stref zagrożenia powodziowego.
- Uzgadnianie stref na styku obszarów modelowania.
- Kartowanie map zagrożenia powodziowego.

Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę podstawowych etapów tworzenia map zagrożenia powodziowego, która następnie została rozszerzona i uszczegółowiona w dalszych punktach niniejszej metodyki.

### 6.1. Budowa bazy danych wejściowych i wyjściowych

---

Wszystkie dane wykorzystywane w procesie wykonywania map zagrożenia powodziowego można podzielić na dwie grupy:

- dane wejściowe - niezbędne do opracowania map zagrożenia powodziowego, które nie są wynikiem modelowania hydraulicznego oraz procesu wyznaczania stref zagrożenia powodziowego i analiz przestrzennych z nimi związanych),
- dane wyjściowe - niezbędne do opracowania map zagrożenia powodziowego, które są wynikiem modelowania hydraulicznego oraz procesu wyznaczania stref zagrożenia powodziowego i analiz przestrzennych z nimi związanych).

Dodatkowo, niezależnie od powyższego podziału, wszystkie dane wykorzystywane w procesie tworzenia map zagrożenia powodziowego możemy podzielić na:

- dane przestrzenne czyli takie, które można przedstawić w przestrzeni geograficznej (np. rastry map topograficznych, dane topograficzne w postaci punktów, linii, poligonów),
- dane nie przestrzenne czyli takie, których nie można przedstawić w przestrzeni geograficznej (np. hydrogramy stanów i przepływów wody, krzywe przepływu).

Struktura kompletnej bazy danych, niezbędnej do opracowania map zagrożenia powodziowego, obejmuje następujące typy danych:

- wejściowe
  - przestrzenne
    - topograficzne
    - geodezyjne
  - nie przestrzenne
    - hydrologiczne
    - hydrauliczne
- wyjściowe
  - przestrzenne
    - strefy zagrożenia powodziowego
    - głębokości wody
    - prędkości przepływu wody
    - kierunki przepływu wody
    - rzędne zwierciadła wody
  - nie przestrzenne
    - wyniki modelowania hydraulicznego
    - wyniki analiz przestrzennych
    - raporty

## 6.2. Budowa modelu hydraulicznego

---

W niniejszej metodyce skoncentrowano się na modelowaniu powodzi przy wykorzystaniu jednowymiarowych (1D) oraz dwuwymiarowych (2D) modeli hydraulicznych.

W ogólnym sformułowaniu zagadnienie tworzenia modelu hydraulicznego (na potrzeby wyznaczania stref i opracowania map zagrożenia powodziowego) polega na jak najbardziej dokładnym opisie wszystkich istotnych elementów decydujących o sposobie transformacji przepływu w korytach naturalnych i sztucznych oraz rozprzestrzeniania się wody na terenach zalewowych.

Dlatego też niezależnie od stosowanego modelu hydraulicznego powinien on uwzględniać następujące elementy:

- kanały naturalne (rzeki),
- kanały sztuczne (np. kanały ulgi),
- tereny zalewowe o charakterze przepływowym,
- tereny zalewowe o charakterze retencyjnym,
- poldery,
- wymianę wody pomiędzy kanałami i strukturami równoległymi,
- obiekty komunikacyjne (mosty drogowe i kolejowe, istotne kładki i inne przeprawy),
- obiekty hydrotechniczne (jazy, przepusty, śluzy) oraz zbiorniki wodne.

Właściwy sposób opisu tych elementów ma ogromne znaczenie dla rozkładu zwierciadła wody w profilach podłużnych rzek oraz ich terenów zalewowych.

W przypadku hydraulicznego modelowania jednowymiarowego 1D ogólny schemat postępowania przedstawia się w sposób następujący:

- określenie struktury modelu,
- identyfikacja oraz implementacja do modelu punktów i warunków brzegowych,
- identyfikacja i implementacja do modelu materiałów kartograficznych niezbędnych przy budowie struktury geometrycznej modelu,
- identyfikacja i implementacja do modelu przekrojów poprzecznych,
- budowa modelu struktury przepływu,
- budowa modelu struktur hydraulicznych,
- określenie parametrów modelu,
- kalibracja modelu,
- weryfikacja modelu,
- wykonanie obliczeń symulacyjnych zgodnie z przyjętymi scenariuszami powodziowymi,
- określenie zakresu danych wejściowych dla wyznaczenia stref zagrożenia powodziowego

W przypadku hydraulicznego modelowania dwuwymiarowego 2D i 1D/2D ogólny schemat postępowania przedstawia się w sposób następujący:

- opracowanie modelu 1D na potrzeby modelu 2D,
- wprowadzenie numerycznego modelu terenu do modelu hydraulicznego,
- identyfikacja oporów przepływu,
- opracowanie hydraulicznego modelu 2D,
- połączenie modeli hydraulicznych 1D i 2D
- określenie warunków brzegowych,
- kalibracja modelu,
- weryfikacja modelu
- wykonanie obliczeń symulacyjnych zgodnie z przyjętymi scenariuszami powodziowymi,
- określenie zakresu danych wejściowych dla wyznaczenia stref zagrożenia powodziowego.

### **6.3. Definiowanie scenariuszy powodziowych**

---

Zgodnie z wytycznymi Dyrektywy Powodziowej oraz projektu nowelizacji ustawy Prawo Wodne mapy zagrożenia powodziowego muszą zostać opracowane dla następujących scenariuszy:

- Scenariusz I - Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(0.2\%)$  (HQ-500 lat) oraz w uzasadnionych przypadkach - scenariusze zdarzeń ekstremalnych dla odcinków cieków poniżej zbiorników retencyjnych (zasięg powodzi wywołanej katastrofą lub awarią budowli piętrzącej) dla wody  $Q(0.1\%)$  (HQ-1000 lat),
- Scenariusz II - Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(1\%)$  (HQ-100 lat)
- Scenariusz III – Wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(10\%)$  (HQ-10 lat).

### **6.4. Wyznaczanie stref zagrożenia powodziowego**

---

Wyznaczenie stref zagrożenia powodziowego opiera się na odwzorowaniu uzyskanych na podstawie wyników modelowania hydraulicznego 1D i 2D rzędnych zwierciadła wody w rzeczywistym ukształtowaniu doliny rzecznej.

Strefy te można wyznaczać z wykorzystaniem:

- map tradycyjnych (analogowych lub rastrowych),
- technik GIS bazujących na numerycznym modelu terenu (NMT).

W przypadku wykorzystania map tradycyjnych strefa zagrożenia powodziowego opracowywana jest w oparciu o informacje nt. rzędnych zwierciadła wody, które nanosi się na mapę, a następnie bazując na rzędnych wysokościowych z pikiet oraz warstwic wkreśla się granicę strefy, pamiętając o zachowaniu spadku zwierciadła wody w cieku.

W przypadku wykorzystania techniki GIS oraz NMT buduje się numeryczny model powierzchni wody (NMPW) bazujący na wynikach modelowania hydraulicznego, a następnie przecina się go z NMT. Strefa będąca wynikiem przecięcia NMT oraz NMPW jest szukaną granicą strefy zagrożenia powodziowego.

### **6.5. Uzgadnianie stref na styku obszarów modelowania**

---

Dla zachowania jednorodności otrzymywanych wyników na styku różnych obszarów modelowania, autorzy tych opracowań zobligowani są do uzgadniania wyników w zakresie obliczeń hydraulicznych w postaci rzędnych zwierciadła wody oraz zasięgu stref zagrożenia powodziowego.

### **6.6. Kartowanie map zagrożenia powodziowego**

---

Pod pojęciem kartowania map zagrożenia powodziowego rozumie się proces, który składa się z 4 podstawowych etapów:

- wizualizacji wyznaczonych stref zagrożenia powodziowego na podkładach topograficznych lub ortofotomapach,
- redakcji map,
- zapisie gotowych map w formacie cyfrowym,
- wydruku gotowych map.

## 7. Baza danych wejściowych i wyjściowych

Podstawowym warunkiem tworzenia map zagrożenia powodziowego (na wszystkich etapach) jest łatwy dostęp do danych i informacji. Dlatego też przed przystąpieniem do prac należy zebrać wszystkie niezbędne informacje wejściowe oraz określić strukturę bazy danych wejściowych i wyjściowych o charakterze przestrzennym i nie przestrzennym.

### 7.1. Dane wejściowe przestrzenne

Są to dane o charakterze przestrzennym, które są niezbędne do opracowania map zagrożenia powodziowego i nie są wynikiem modelowania hydraulicznego, procesu wyznaczania stref zagrożenia powodziowego oraz analiz przestrzennych z nimi związanych.

#### 7.1.1. Dane topograficzne

Dla potrzeb opracowywania map zagrożenia powodziowego istotne są następujące rodzaje produktów topograficznych:

- mapy topograficzne w różnych skalach (rastry kolorowe lub binarne dwukolorowe),
- ortofotomapy,
- mapy zalewów historycznych,
- mapy użytkowania terenu,
- numeryczne modele terenu NMT,
- numeryczne modele współczynników szorstkości,
- zwektoryzowane dane topograficzne w postaci bazy danych obiektów topograficznych BDOT (punktowe, liniowe i poligonowe obiekty GIS).

Topograficzna baza danych powinna zawierać następujące rodzaje danych:

- zalewy historyczne - źródłem map zalewów historycznych będzie opracowanie Wstępna Ocena Ryzyka Powodziowego (WORP),
- geodezyjnie pomierzone „ślady wielkiej wody” powodzi historycznych - źródeł tego typu danych należy szukać w WORP,
- obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi, wyznaczone we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego
- sieć rzeczna – źródło: BDOT, klasy: odcinki rzek i kanałów, odcinki rowów melioracyjnych, obszary wód, ciek
- zbiorniki retencyjne- źródło: BDOT, klasa: zbiorniki wód
- granice zlewni – źródło: WORP i/lub MHP po weryfikacji
- przekroje poprzeczne rzek źródło: pomiary terenowe
- wały przeciwpowodziowe - źródło BDOT, klasa: budowle ziemne
- śluzy wałowe - źródło BDOT, klasa: budowle hydrotechniczne
- obiekty inżynierskie - źródło BDOT, klasa: budowle mostowe
- obiekty hydrotechniczne - źródło BDOT, klasa: budowle hydrotechniczne
- kilometraż rzek - wyznaczany w ramach opracowania
- posterunki wodowskazowe – źródło: dane IMGW,
- posterunki meteorologiczne – źródło: dane IMGW,
- podział administracyjny (granica państwa, województwa, powiaty, gminy) - źródło BDOT,
- podział arkuszowy map topograficznych i ortofotomapy. - źródło BDOT.

Szczegółowy opis danych topograficznych znajduje się w „Metodyce opracowania produktów geodezyjnych i kartograficznych 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”.

### **7.1.2. Dane geodezyjne**

---

Dane geodezyjne to dane określające kształt oraz wybrane parametry fizyczne Ziemi, jej części oraz wymiary i położenie poszczególnych obiektów przestrzennych, pozyskiwane metodami pomiaru bezpośredniego (triangulacji, poligonizacji, niwelacji, tachimetrii) lub technikami satelitarnymi w odniesieniu do wybranego systemu odniesień przestrzennych płaskich lub elipsoidalnych.

Dla potrzeb opracowywania map zagrożenia powodziowego istotne są następujące rodzaje danych geodezyjnych:

- przekroje geodezyjne koryt i dolin rzecznych,
- przekroje obiektów inżynierskich (komunikacyjnych i hydrotechnicznych),
- profile podłużne obwałowań,
- profile podłużne nasypów z lokalizacją przepustów,
- profile podłużne innych istotnych obiektów liniowych.

Źródłem ww. danych są pomiary terenowe. Szczegółowy opis danych topograficznych znajduje się w „Metodyce opracowania produktów geodezyjnych i kartograficznych 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”.

### **7.2. Dane wejściowe nie przestrzenne**

---

Są to dane o charakterze nie przestrzennym, które są niezbędne do opracowania map zagrożenia powodziowego i nie są wynikiem modelowania hydraulicznego, procesu wyznaczania stref zagrożenia powodziowego oraz analiz przestrzennych z nimi związanych.

#### **7.2.1. Dane hydrologiczne**

---

Dane hydrologiczne niezbędne do modelowania przepływu w korytach i na terenach zalewowych dla wszystkich typów modelowania hydraulicznego 1D, 2D, 1D/2D są identyczne. Są to:

- charakterystyki hydrologiczne posterunków wodowskazowych,
- stałe lub zmienne w czasie wartości przepływ  $Q$  [ $m^3/s$ ],
- rozkłady przepływów  $Q$  zgodnie z przyjętymi scenariuszami powodziowymi,
- stałe lub zmienne w czasie wartości rzędnych zwierciadła wody  $H$  [m],
- krzywe przepływu  $Q/H$  dla posterunków wodowskazowych

#### **7.2.2. Dane hydrauliczne**

---

Dane hydrauliczne są wykorzystywane na etapie budowy modelu hydraulicznego i są to następujące typy danych:

- współczynniki szorstkości koryt rzecznych i terenów zalewowych,
- istniejące krzywe wydatku obiektów hydraulicznych.

### **7.3. Dane wyjściowe przestrzenne**

---

Są to dane o charakterze przestrzennym, które są niezbędne do opracowania map zagrożenia powodziowego i są wynikiem modelowania hydraulicznego, procesu wyznaczania stref zagrożenia powodziowego oraz analiz przestrzennych z nimi związanych.

Należą do nich:



- strefy zagrożenia powodziowego,
- głębokości wody otrzymane w wyniku modelowania hydraulicznego 1D oraz 2D
- prędkości przepływu wody otrzymane w wyniku modelowania hydraulicznego 2D,
- wektory prędkości przepływu wody otrzymane w wyniku modelowania hydraulicznego 2D
- rzędne zwierciadła wody,
- kilometraż rzek

**Struktura przestrzennej bazy danych wyjściowych przedstawia się następująco:**

**Strefy zagrożenia powodziowego,**

- Strefy zagrożenia powodziowego dla prawdopodobieństwa [prawdopodobieństwo w %] – scenariusz [nr scenariusza]
  - Opis – strefy zagrożenia powodziowego dla danego prawdopodobieństwa (scenariusza) dla każdej z rzek
  - Klasa obiektów: poligonowa
  - Atrybuty:

Nazwa	Znaczenie (alias)	Typ komórki
ID_HYD_R	Identyfikator hydrograficzny rzeki wg MPHP	tekstowa
ID_R	Identyfikator rzeki w przypadku kiedy rzeka nie posiada identyfikatora wg MPHP	całkowita
ID_S	Identyfikator scenariusza powodziowego	całkowita
S_TXT	Opis scenariusza	tekstowa

- Strefa zagrożenia powodziowego dla prawdopodobieństwa [prawdopodobieństwo w %] – scenariusz [nr scenariusza]
  - Opis – strefa zagrożenia powodziowego dla danego prawdopodobieństwa (scenariusza) scalona dla rzek znajdujących się w obrębie opracowania.
  - Klasa obiektów: poligonowa
  - Atrybuty:

Nazwa	Znaczenie (alias)	Typ komórki
ID_S	Identyfikator scenariusza powodziowego	całkowita
S_TXT	Opis scenariusza	tekstowa

**Głębokości wody otrzymane w wyniku modelowania hydraulicznego 1D oraz 2D**

- Głębokość wody w strefie zagrożenia powodziowego dla prawdopodobieństwa [prawdopodobieństwo w %] – scenariusz [nr scenariusza]
  - Opis – Warstwa w postaci pliku rastrowego z przypisaną do każdego piksela wartością głębokości wody wyznaczoną na podstawie różnicy pomiędzy NMZW a NMT

**Prędkości przepływu wody otrzymane w wyniku modelowania hydraulicznego 2D,**

- Prędkość wody w strefy zagrożenia powodziowego dla prawdopodobieństwa [prawdopodobieństwo w %] – scenariusz [nr scenariusza] – modelowanie 2D
  - Opis - Warstwa w postaci pliku rastrowego z przypisaną do każdego piksela wartością prędkości wody wyznaczoną na podstawie wyników modelowania 2D

**Wektory prędkości przepływu wody otrzymane w wyniku modelowania hydraulicznego 2D**

- Wektory prędkości [prawdopodobieństwo w %] – scenariusz [nr scenariusza] –data [gg:mm ddrr-mm-rrrr]
- Opis – kierunki przepływu wody
  - Klasa obiektów: punkt
  - Atrybuty:

Nazwa	Znaczenie (alias)	Typ komórki
ID_S	Identyfikator scenariusza powodziowego	całkowita
V	Wartość prędkości	podwójna
KIER_V	Kierunek wektora prędkości	podwójna

*Uwaga! Kierunki wektorów prędkości mogą zostać wyznaczone tylko dla wybranej daty z okresu obliczeniowego danego modelu.*

**Rzędne zwierciadła wody.**

- Max. rzędne zw. wody dla prawdopodobieństwa [prawdopodobieństwo w %]
  - Opis – punkty, w których wykonane zostały obliczenia w ramach modelowania hydraulicznego z przypisana maksymalną rzędną zwierciadła wody wynikającą z modelowania
  - Klasa obiektów: punktowa
  - Atrybuty:

Nazwa	Znaczenie (alias)	Typ komórki
ID_HYD_R	Identyfikator hydrograficzny rzeki wg MPHP	tekstowa
ID_R	Identyfikator rzeki w przypadku kiedy rzeka nie posiada identyfikatora wg MPHP	tekstowa
KM_PKT	Rzeczywisty kilometr punktu na trasie cieką liczony od ujścia cieką do jego źródła	podwójna
ID_Q	Identyfikator wód o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia p%	całkowita
RZEDNA	Maksymalna rzędna zw. Wody wynikająca z modelowania w m n.p.m.	podwójna

**Kilometraż rzek**

- Kilometraż rzek
  - Opis – punkty opisujące rzeczywisty kilometraż rzek przyporządkowane co 500 m do cieką począwszy od ujścia cieką do jego źródła
  - Klasa obiektów: punktowa
  - Atrybuty:

Nazwa	Znaczenie (alias)	Typ komórki
ID_HYD_R	Identyfikator hydrograficzny rzeki wg MPHP	tekstowa

ID_R	Identyfikator rzeki w przypadku kiedy rzeka nie posiada identyfikatora wg MPHP	tekstowa
KM_PKT	Rzeczywisty kilometr punktu na trasie cieków liczony od ujścia cieków do jego źródła	podwójna
KM_TXT	Opis kilometra	tekstowa

Szczegółowy opis danych wyjściowych przestrzennych znajduje się w „Metodyce opracowania produktów geodezyjnych i kartograficznych 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”.

#### 7.4. Dane wyjściowe nie przestrzenne

Są to dane o charakterze nie przestrzennym, które są niezbędne do opracowania map zagrożenia powodziowego i są wynikiem modelowania hydraulicznego, procesu wyznaczania stref zagrożenia powodziowego oraz analiz przestrzennych z nimi związanych.

Należą do nich:

- wyniki obliczeń hydrologicznych,
- wyniki modelowania hydraulicznego,
- wyniki analiz przestrzennych,
- raporty.

### 8. Zasady modelowania powodzi

W punkcie dotyczącym zasad modelowania powodzi podano zasady:

- modelowania 1D powodzi rzecznych,
- modelowania 2D powodzi rzecznych,
- modelowania powodzi morskich,

#### 8.1. Modelowanie 1D powodzi rzecznych

Przeznaczeniem hydraulicznych modeli jednowymiarowych 1D jest modelowanie przepływu wody:

- w rzekach,
- ujściach rzek,
- kanałach sztucznych,
- na terenach zalewowych,
- polderach,
- poprzez struktury hydrauliczne,
- w zbiornikach retencyjnych.

Zastosowanie tego typu modelowania jest szerokie i może być wykorzystane do:

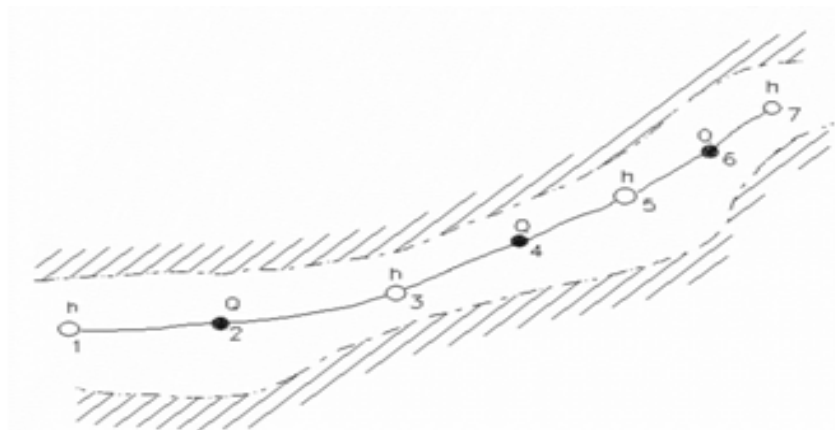
- przestrzenno – czasowej analizy zjawisk przepływu wody w rzekach oraz strukturach powiązanych,
- prognozowania zmian zachodzących pod wpływem planowanych inwestycji lub działań gospodarki wodnej,
- tworzenia map zagrożenia powodziowego,
- oceny przepustowości obwałowań,
- analizy określonych scenariuszy powodziowych.

W zakresie klas hydraulicznych modeli 1D stosuje się modele:

- ruchu ustalonego (parametry modelu stałe w czasie),
- ruchu nieustalonego (parametry modelu zmienne w czasie).

W zakresie modeli matematycznych stosuje się różne formuły matematyczne, przy czym w przypadku modeli ruchu nieustalonego najczęściej są wykorzystywane zintegrowane równania SAINT VENANTA oparte na prawie zachowania masy i pędu. Rozwiązanie równań odbywa się różnych schematach obliczeniowych (np. na rozwiniętym schemacie uwikłanej różniczki opracowanym przez ABBOT i IONESCU). Transformacja równań odbywa się w schemacie węzłowym na siatce obliczeniowej 1D, która składa się z alternatywnych punktów Q (przepływ) i H (stan wody) (**Rys. 5**).

Rys. 5 – Przykład siatki obliczeniowej hydraulicznego modelu 1D



#### 8.1.1. Struktura geometryczna modelu

Struktura geometryczna modelu 1D uzależniona jest zarówno od warunków topograficznych jak i od prawidłowej identyfikacji wszystkich barier przepływu wód kształtujących rozkład zwierciadła wody oraz sposób jej rozlewania się na terenach zalewowych.

#### 8.1.2. Warunki brzegowe

Warunki brzegowe są niezbędne dla rozgałęzień modelu (**Rys. 6**), które nie są zamknięte węzłami siatki obliczeniowej, i których wartości należy zadać przed przystąpieniem do obliczeń – mogą być zadawane w postaci wartości stałych H lub Q, szeregów czasowych  $H = H(t)$  lub  $Q = Q(t)$  oraz charakterystyk  $H = f(Q)$ . Wyróżnia się następujące typy warunków brzegowych:

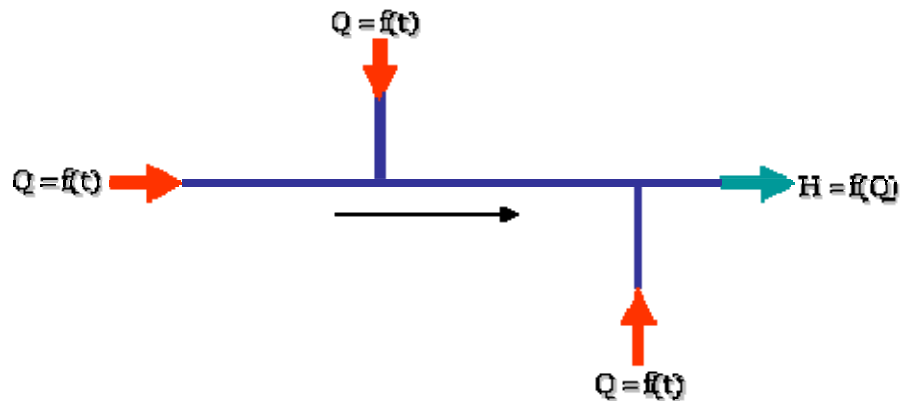
- górne - charakterystyki wejściowe do modelu w postaci serii czasowych lub stałych wartości Q,
- pośrednie - charakterystyki w postaci serii czasowych lub stałych wartości Q oraz H a także zależności Q/H w punktach nie brzegowych modelu występujące jako wartości punktowe lub rozłożone na odcinku rzeki,
- dolne - dla danego modelu istnieje jeden dolny warunek brzegowy w postaci zależności Q/H lub  $H = \text{CONST}$  zadawany w punkcie wyjściowym modelu.

Definiowanie struktury warunków brzegowych polega na:

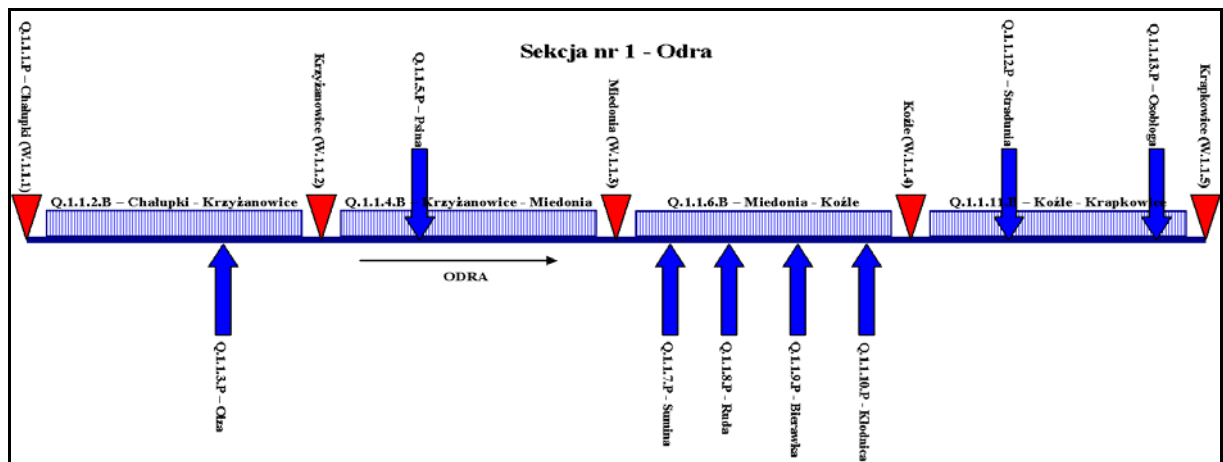
- identyfikacji posterunków wodowskazowych dla modelowanego obszaru,
- pozyskaniu danych hydrologicznych z posterunków wodowskazowych: Q i H (stałych wartości lub hydrogramów) oraz Q/H,

- analizie i opracowaniu pozyskanych danych hydrologicznych (ocena kompletności danych, ocena zgodności krzywych  $Q/H$  z przekrojami poprzecznymi, ocena zgodności krzywych  $Q/H$  z wartościami  $Q$  i  $H$ ),
- ustaleniu ogólnej formuły rozkładu przepływów  $Q$  w celu zdefiniowania pośrednich punktowych i rozłożonych warunków brzegowych,
- przygotowaniu zestawu warunków brzegowych, osobno dla procesu kalibracji, weryfikacji i obliczeń symulacyjnych.

Rys. 6 – Przykład warunków brzegowych w modelu dynamicznym



Rys. 7 – Przykład struktury warunków brzegowych modelu 1D dla Odry (Chałupki – Krapkowice)



Właściwe określenie warunków brzegowych podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- identyfikacja wszystkich posterunków wodowskazowych dla modelowanego obszaru,
- wybór cieków niekontrolowanych, które zostaną uwzględnione jako warunki brzegowe w modelu hydraulicznym,
- wyznaczenie warunków brzegowych niezbędnych dla właściwej budowy modelu hydraulicznego,
- ocena hydrologicznych danych wejściowych (hydrogramy przepływów, stałe wartości, krzywe natężenia przepływu).
- kilometraż punktu modelu, w którym wprowadzony zostanie warunek brzegowy,
- nazwa cieku, na którym zlokalizowany jest punkt warunku brzegowego;
- określenie brzegu cieku, na którym zlokalizowany jest dopływ skupiony;

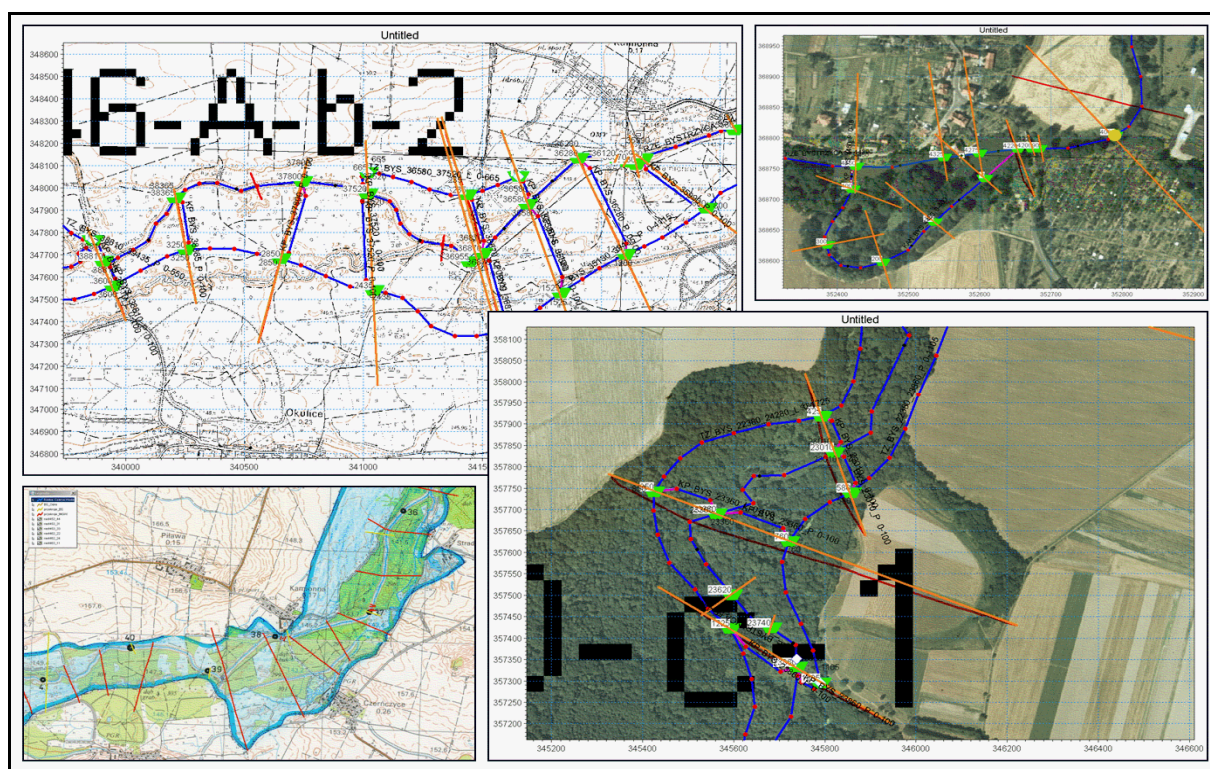
### 8.1.3. Materiały kartograficzne

Wiele narzędzi do modelowania 1D umożliwia budowę modelu w przestrzeni geograficznej. Jest to bardzo pomocne przy budowie struktury geometrycznej modelu polegającej na określeniu liniowych i punktowych struktur przepływu. Do celów schematyzacji modelu 1D mogą być wykorzystane mapy topograficzne i ortofotomapy w różnych skalach i PUWG 1992 (**Rys. 8**).

W celu przygotowania map dla procesu geometrycznej schematyzacji modelu hydraulicznego polega na wykonaniu następującego zakresu prac:

- Identyfikacja oraz pozyskanie dostępnych map w bazie wejściowych danych przestrzennych (mapy topograficzne z lokalizacją przekrojów poprzecznych, mapy wektorowe, rastrowe i ortofotomapy);
- Przygotowanie materiałów kartograficznych do odczytu w danym narzędziu do modelowania 1D (dokonanie niezbędnych konwersji formatu plików graficznych z informacją kartograficzną oraz przygotowanie plików z informacją georeferencyjną kompatybilnych z wykorzystywanym narzędziem);
- Przygotowanie dodatkowych informacji kartograficznych w postaci elementów wektorowych, które mogą być przydatne przy schematyzacji struktury geometrycznej modelu 1D (przekroje poprzeczne, siatka kartograficzna, godła map);
- Implementacja przygotowanych materiałów kartograficznych do wykorzystywanego narzędzia (zdefiniowanie wielkości obszaru modelowania; wczytanie przygotowanych materiałów kartograficznych w granicach wcześniej zdefiniowanego obszaru modelowania oraz przygotowanie prawidłowych warunków dla wizualizacji i schematyzacji struktury sieci rzecznej oraz wszystkich elementów powiązanych).

Rys. 8 – Struktura modelu 1D osadzona w przestrzeni geograficznej (mapy topo i orto)



Właściwa budowa struktury geometrycznej podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- dobór właściwych produktów kartograficznych (zgodnie z metodyką dla produktów geodezyjnych) dla procesu budowy struktury geometrycznej modelu hydraulicznego,
- schematyzacja sieci rzecznej,



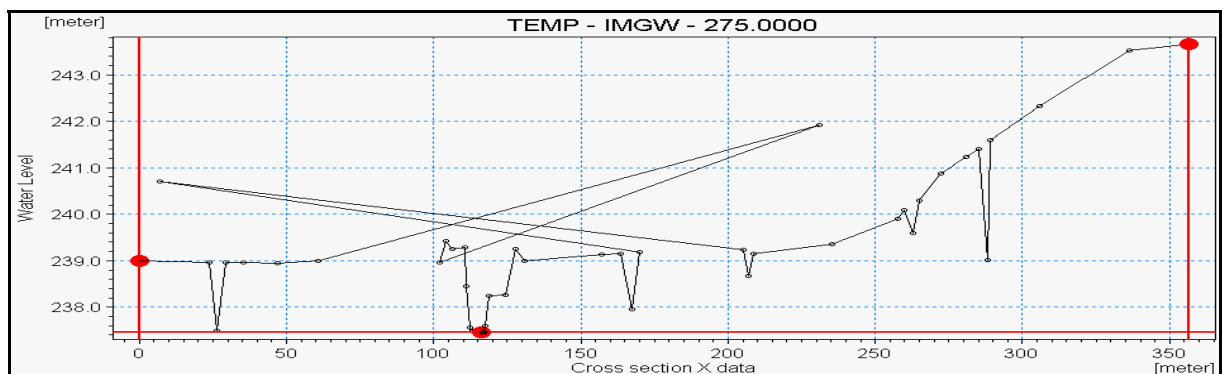
- rejestracja w przestrzeni geograficznej (dobór układu współrzędnych geograficznych)

#### 8.1.4. Przekroje poprzeczne

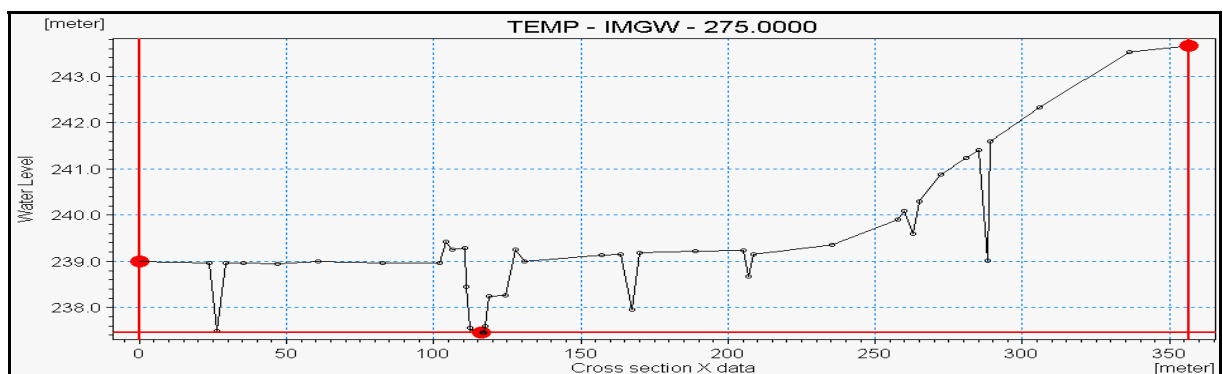
Przekroje poprzeczne (pomierzone geodezyjnie metodami bezpośrednimi) są geometryczną podstawą budowy modelu hydraulicznego 1D. Praca z przekrojami poprzecznymi i ich implementacja do modelu polega na wykonaniu następujących prac.

- Identyfikacja oraz pozyskanie dostępnych i aktualnych przekrojów poprzecznych rzek oraz map z ich dokładną lokalizacją ze wszystkich źródeł uznanych za wiarygodne i autoryzowane.
- Implementacja przekrojów poprzecznych do narzędzia modelowania 1D (w przypadku danych elektronicznych - konwersja do formatu akceptowanego przez narzędzie i automatyczny import; w przypadku danych papierowych – ręczne wprowadzenie danych);
- Analiza formalno - jakościowa przekrojów poprzecznych (ilościowo – jakościowa analiza poprawności przetworzenia i wprowadzenia danych elektronicznych; wizualna ocena poprawności przekrojów poprzecznych pod kątem występowania widocznych błędów geometrii (**Rys. 9**); analiza porównawcza oraz ocena przydatności przekrojów poprzecznych pochodzących z różnych źródeł dla modelowania.
- Korekta przekrojów poprzecznych (korekta błędów (**Rys. 10**) usunięcie nieaktywnych powierzchni czynnych przepływu wody rozumianych jako lokalne zagłębienia o charakterze retencyjnym (**Rys. 11**)).
- Zdefiniowanie punktów ograniczających powierzchnie czynne przekrojów w celu wydzielania koryta właściwego i terenów zalewowych (**Rys. 12**).

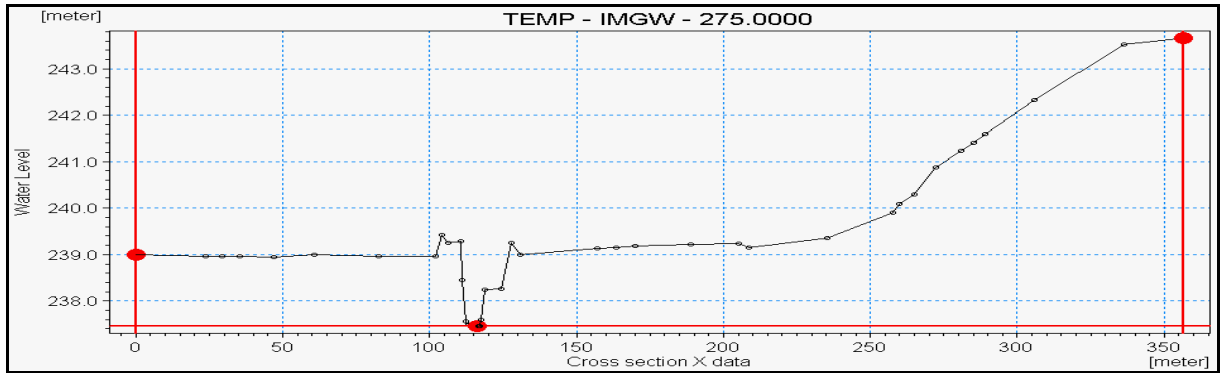
Rys. 9 – Błędy geometrii w przekroju poprzecznym



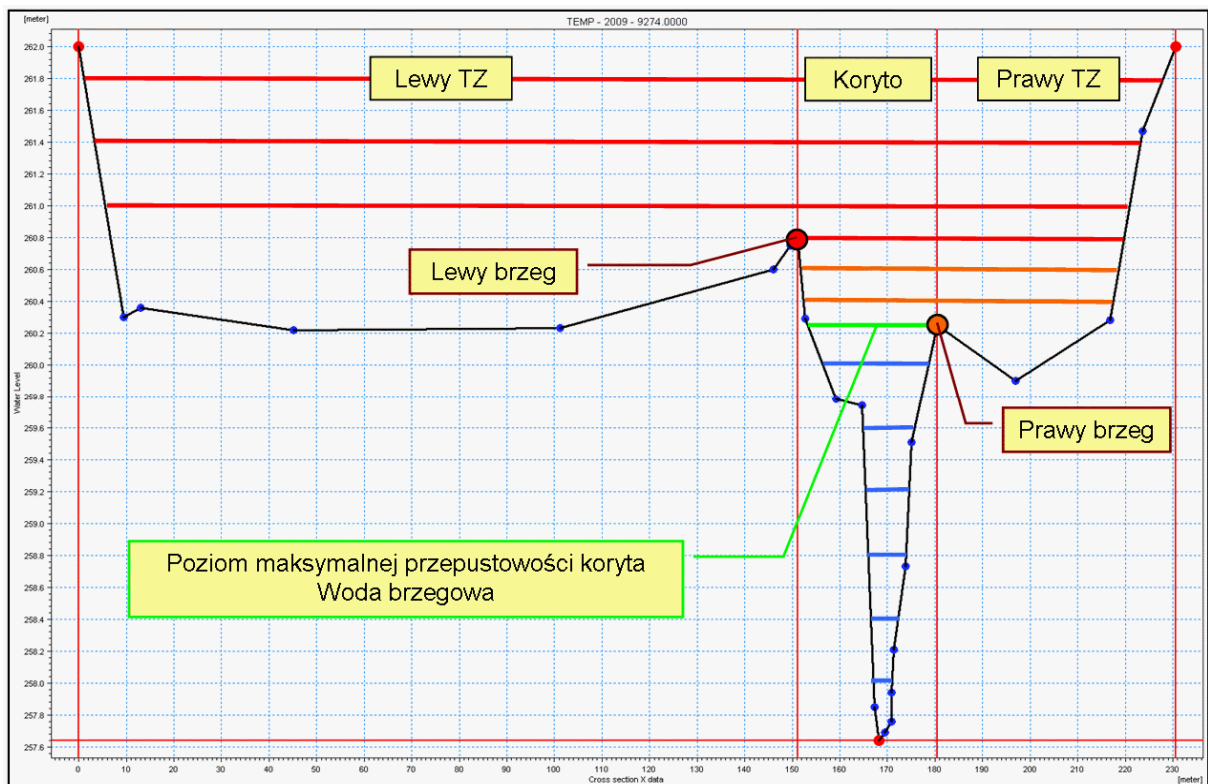
Rys. 10 – Skorygowany przekrój poprzeczny



Rys. 11 – Przekrój poprzeczny z usuniętymi nieaktywnymi powierzchniami czynnymi przepływu



Rys. 12 – Podział przekroju poprzecznego na koryto właściwe oraz prawy i lewy teren zalewowy



Właściwa implementacja przekrojów poprzecznych w modelu podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

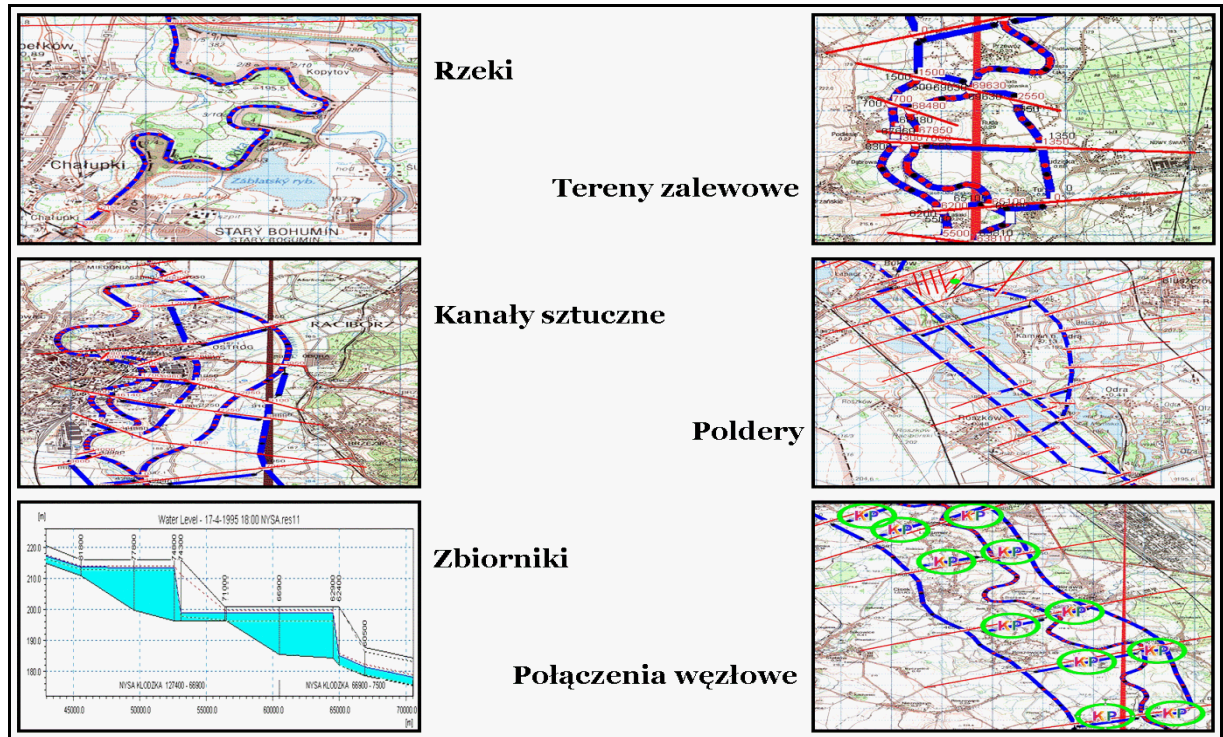
Zakres kontroli:

- sposób odwzorowania geometrii przekroju poprzecznego w modelu;
- kilometraż przekroju;
- nazwa cieku, na którym zlokalizowany jest przekrój;
- sposób wydzielenia koryta głównego oraz teras zalewowych.

#### 8.1.5. Struktury liniowe przepływu

Przez struktury liniowe przepływu modelu hydraulicznego 1D (**Rys. 13**) rozumiemy: rzeki, kanały sztuczne, tereny zalewowe, poldery, zbiorniki i połączenia węzłowe kontakt hydraulicznego.

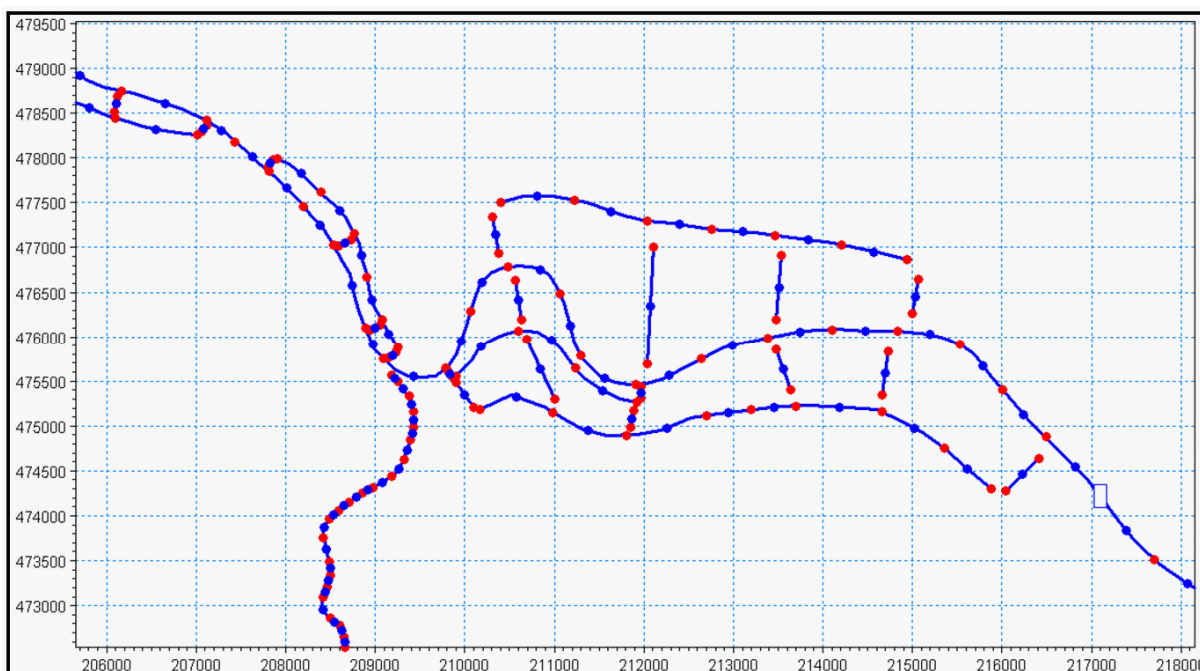
Rys. 13 – Struktury liniowe przepływu modelu hydraulicznego 1D



Budowa struktury liniowej modelu (**Rys. 14**) składa się z kilku etapów. Są to:

- Analiza struktury sieci rzecznej i przepływu wód na podstawie dostępnych materiałów kartograficznych i opisowych oraz dokonanie koniecznych obmiarów i obliczeń.
- Zdefiniowanie struktury sieci rzecznej i dróg przepływu wody zgodnie z wykonaną analizą oraz przyjętym sposobem kilometrowania w module:
  - struktury przepływu koryt głównych rzek;
  - struktury przepływu kanałów sztucznych;
  - struktury przepływu na terenach zalewowych;
  - struktury przepływu na polderach;
  - struktury przepływu w zbiornikach.
- Osadzenie w obrębie zdefiniowanych liniowych struktur przepływu przekrojów poprzecznych z liniami podziału przepływu.
- Zdefiniowanie powiązań oraz interakcji (kanały połączeniowe) pomiędzy równoległymi liniowymi strukturami przepływu w celu zapewnienia kontaktu hydraulicznego i wymiany wody (quasi 2D charakter modelu 1D).

Rys. 14 – Quasi 2D struktura liniowa przepływu modelu 1D z połączeniami węzłowymi



Właściwa implementacja struktury geometrycznej podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- sieć rzeczna (cieki naturalne, koryta sztuczne, tereny zalewowe, poldery, zbiorniki),
- wartość kilometrażu,
- nazwy cieków;
- sposób wprowadzenia sieci do modelu hydraulicznego;
- ilość przyjętych węzłów.

#### 8.1.6. Struktury punktowe przepływu

W hydraulice koryt i dolin rzecznych operuje się pojęciem struktura hydrauliczna. Pod tym pojęciem rozumiemy wszystkie obiekty hydrauliczne, które posiadają istotną zdolność kształtowania rozkładu zwierciadła wody w profilach podłużnych rzek i na ich terenach zalewowych.

Obiekty hydrauliczne dzielą się na: obiekty komunikacyjne (mosty, kładki, przeprawy) oraz hydrotechniczne (jazy, progi, zapory przeciwrumowiskowe, przepusty).

W przypadku obiektów komunikacyjnych wyróżnia się obiekty niskiego, średniego oraz wysokiego przepływu wód.

Obiekty komunikacyjne niskiego przepływu charakteryzują się wysokim stopniem zakłócenia przepływu i wywołują efekt piętrzenia. Charakteryzują się małym światłem czyli niewielką powierzchnią przekroju przepływu w stosunku do powierzchni przekrojów koryta rzecznej, które znajdują się powyżej i poniżej obiektu. W większości przypadków spód konstrukcji znajduje się znacznie poniżej poziomu maksymalnej przepustowości koryta wielkiej wody. Są to obiekty zatapane przez wody powodziowe i w większości przypadków stare obiekty, które nie zostały przebudowane zgodnie z obowiązującymi normatywami. Wszystkie obiekty komunikacyjne niskiego przepływu muszą zostać uwzględnione w modelu hydraulicznym.

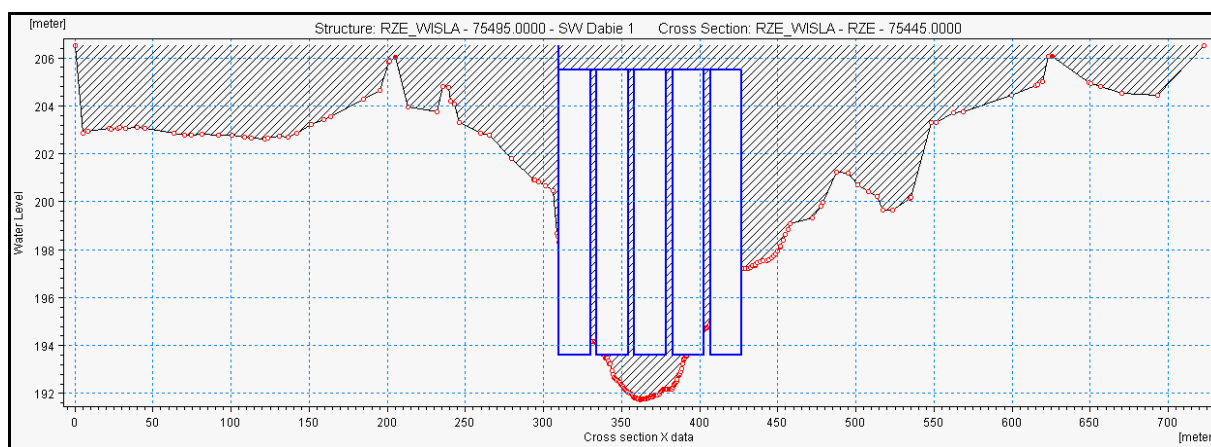
Obiekty komunikacyjne średniego przepływu charakteryzują się umiarkowanym stopniem zakłócenia przepływu i mogą wywoływać niewielki efekt piętrzenia. Charakteryzują się porównywalną

powierzchnią (światłem) przepływu w stosunku do powierzchni przekrojów koryta rzecznego, powyżej i poniżej obiektu. Spód konstrukcji znajduje się na podobnym poziomie jak poziom maksymalnej przepustowości koryta wielkiej wody. Obiekty te w czasie przepływu wielkich wód mogą być zatopione ale na pewno są opływane. Wszystkie obiekty średniego przepływu powinny być uwzględnione w modelu hydraulicznym.

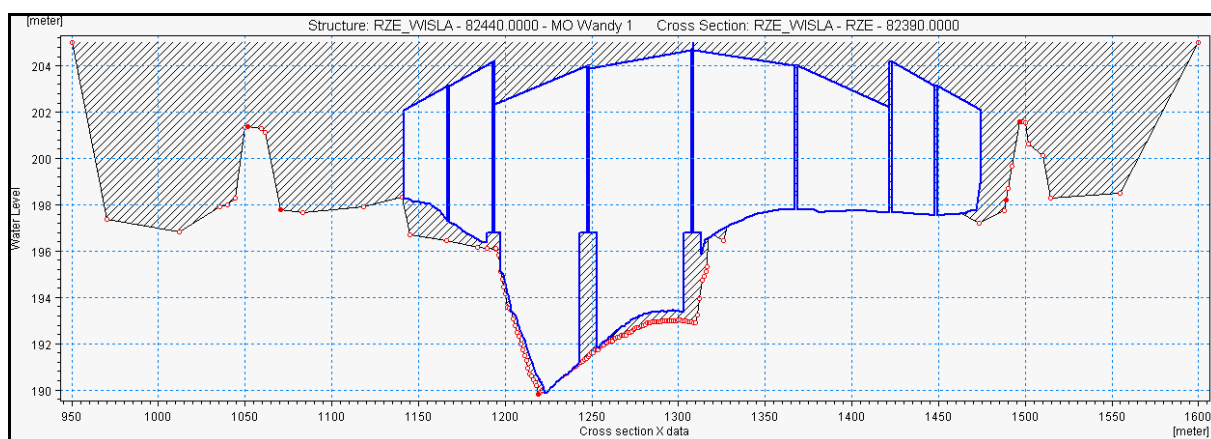
Obiekty komunikacyjne wysokiego przepływu charakteryzują się minimalnym stopniem zakłócenia przepływu i pomijalnym efektem piętrzenia. Charakteryzują się znacznie większą powierzchnią (światłem) przepływu w stosunku do powierzchni przekrojów koryta rzecznego, powyżej i poniżej obiektu. Spód konstrukcji znajduje się powyżej poziomu maksymalnej przepustowości koryta wielkiej wody (często obejmują także tereny zalewowe). Obiekty te nie są zatapiane w czasie przepływu wielkich wód, mogą być jedynie opływane. Tych obiektów nie uwzględnia się w modelu hydraulicznym.

W przypadku hydraulicznych obiektów hydrotechnicznych zdolność kształtowania poziomu zwierciadła wody zależy od: reżimu rzeki, spadku podłużnego, szerokości i wysokości. Dzielimy je na przelewowe (jazy, progi, zapory) i przepływowe (przepusty). W modelu hydraulicznym muszą zostać uwzględnione jazy ruchome oraz przepusty, natomiast w przypadku pozostałych obiektów hydrotechnicznych musi zostać dokonana indywidualna kwalifikacja w oparciu o parametry wymienione powyżej.

Rys. 15 – Przykład modelu hydraulicznego jazu segmentowego (Wisła – Stopień wodny Kościuszko)



Rys. 16 – Przykład modelu hydraulicznego jazu segmentowego (Wisła –Most Wandy)



Budowa modeli struktur hydraulicznych składa się z 3 etapów:

- Identyfikacja wszystkich struktur hydraulicznych mających wpływ na kształtowanie się poziomu zwierciadła wody w profilu podłużnym przy przepływie wielkich wód..
- Identyfikacja oraz pozyskanie niezbędnych danych (lokalizacja, geometria, hydraulika).



- Implementacja struktur hydraulicznych do modelu zgodnie z warunkami i wymaganiami narzędzi do modelowania 1D.

Właściwa implementacja struktur punktowych przepływu podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- sposób schematyzacji struktur hydraulicznych (obiektów inżynierskich) w modelu;
- kilometraż obiektów;
- nazwy cieków, na którym zlokalizowana jest struktura;
- dobór parametrów hydraulicznych struktury.

#### 8.1.7. Opory przepływu

---

Jednym z najbardziej istotnych elementów prawidłowej pracy i wiarygodności wyników obliczeń modelu hydraulicznego 1D jest właściwa ocena oporów przepływu koryt i dolin rzecznych oraz przełożenie tej oceny na prawidłowe wartości współczynników szorstkości. Opory przepływu reprezentują siły wyhamowujące ruch wody w korycie rzecznym, w przeciwieństwie do sił wymuszających ten ruch reprezentowanych przez siłę grawitacji. Ich ocena, interpretacja i identyfikacja jest złożona, ponieważ zależą od wielu czynników oraz charakteryzują się zmiennością przestrzenną i czasową.

Do oporów przepływu zaliczamy opory wynikające z:

- tarcia wewnętrznego lepkiej cieczy jaką jest woda,
- tarcia zewnętrznego wody o ściany i dno koryta,
- zmienności kształtów i wymiarów przekrojów poprzecznych koryt,
- odspajania i transportu rumowiska dennego,
- lokalnych przeszkód znajdujących się w korytach,
- zarastania koryt roślinnością wodną i nadbrzeżną,
- nieregularności i krzywizn układu poziomego rzek.

W ramach tego opracowania zdecydowano się na posługiwanie się współczynnikiem szorstkości wg MANNINGA ( $n$ ), ze względu na to, że jest to najczęściej używany parametr w modelach hydraulicznych 1D a jego wartość jest wprost proporcjonalna do obliczeniowego poziomu wody (wzrost wartości  $n$  oznacza zwiększenie oporów przepływu, a tym samym podniesienie obliczeniowego zwierciadła w korycie lub terenie zalewowym).

Identyfikacji współczynników szorstkości dokonuje się na podstawie wiedzy eksperckiej, która polega na:

- ocenie terenowych warunków przepływu wód w korytach i na terenach zalewowych na podstawie wizji lokalnej,
- umiejętności interpretacji materiałów kartograficznych a w szczególności ortofotomap,
- znajomości wartości współczynników szorstkości dla danych terenowych warunków przepływu,
- zastosowaniu istniejących metod określania wartości współczynników szorstkości.

Poniżej podano typowe wartości współczynnika szorstkości „ $n$ ” MANNINGA (wg VEN TE CHOW, 1959) dla rzek i terenów zalewowych o różnych reżimach przepływu.



Tab. 4 – Typowe wartości współczynnika szorstkości „n” MANNINGA (wg VEN TE CHOW, 1959)

Typ cieku i jego opis	Współczynnik szorstkości		
	Min.	Średni	Max.
<b>Małe cieki wodne (w czasie wielkiej wody szerokość mniejsza od 30 m)</b>			
<b>Cieki nizinne</b>			
czyste, proste, bez mielizn i dołów	0,025	0,030	0,033
jw., ale z dużymi kamieniami i roślinnością	0,030	0,035	0,040
czyste, kręte z łachami i dołami	0,033	0,040	0,045
jw., ale z dużymi kamieniami i roślinnością	0,035	0,045	0,050
jw., przy niskich stanach wody, nieznacznych spadkach i małych przekrojach poprzecznych	0,040	0,048	0,055
czyste, kręte z łachami i dołami, z dużą ilością kamieni z odcinkami o małej prędkości przepływu, z zaroślami i głębokimi dołami	0,045	0,050	0,060
na pewnych odcinkach całkowicie zarośnięte, z głębokimi dołami lub występowaniem wikliny i pni zwalonych drzew	0,050	0,070	0,080
	0,075	0,100	0,150
<b>Potoki górskie bez roślinności w korycie z krętymi brzegami, z drzewami i krzakami na brzegach</b>			
dno potoku żwirowe, występują otoczaki i nieliczne głazy	0,030	0,040	0,050
dno potoku kamienne, występują duże głazy	0,040	0,050	0,070
<b>Tereny zalewowe</b>			
<b>pastwiska bez krzaków</b>			
niska trawa	0,025	0,030	0,035
wysoka trawa	0,030	0,035	0,050
<b>poła uprawne</b>			
nie obsiane	0,020	0,030	0,040
zasiewy rzędowe	0,025	0,035	0,045
zasiewy ciągłe	0,030	0,040	0,050
<b>powierzchnie pokryte wikliną</b>			
pojedyncze krzaki, obfita trawa i zielsko	0,035	0,050	0,070
niewielka wiklina i drzewa w warunkach zimowych	0,035	0,050	0,060
jw., tylko latem	0,040	0,060	0,080
wiklina o gęstości średniej do dużej			
w warunkach zimowych	0,045	0,070	0,110
jw., tylko latem	0,070	0,100	0,160
<b>powierzchnia pokryta drzewami</b>			
gęsty gaj wierzbowy w warunkach letnich	0,110	0,150	0,200
oczyszczona powierzchnia ziemi			
z pniami i drzewami bez pędów	0,040	0,050	0,050
jw., lecz drzewa z gęstymi pędami	0,050	0,060	0,080
duża ilość pni, nieliczne zwalone drzewa, niewielkie poszycie lasów, poziom wielkiej wody poniżej gałęzi drzew	0,080	0,100	0,120
jw., lecz poziom wielkiej wody zatapia gałęzie drzew	0,100	0,120	0,160
<b>Duże cieki</b>			
<b>(przy wielkiej wodzie szerokość koryta większa od 30 m)</b>			
(w takich samych warunkach wielkość n dla dużych cieków jest mniejsza niż dla małych, bowiem szorstkość brzegowa w przypadku dużych cieków stanowi dla ruchu wody mniejszą przeszkodę)			
regularne przekroje poprzeczne koryta bez wikliny i głązów	0,025	-	0,060
nieregularne przekroje poprzeczne i nierówna powierzchnia koryta	0,035	-	0,100

W metodycznym podejściu do oceny współczynników szorstkości na uwagę zasługuje metoda COWANA, która uwzględnia wpływ wszystkich istotnych czynników mających wpływ na kształtowanie się oporów przepływu.

Współczynnik szorstkości charakteryzujący opory przepływu w korycie i terenach zalewowych rzeki w metodzie COWANA przedstawiony jest jako suma współczynników cząstkowych wg następujących formuły:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m$$

gdzie:

- $n_0$  podstawowa wartość współczynnika szorstkości obwodu zwilżonego,  
 $n_1$  współczynnik uwzględniający stopień nieregularności liniowej rzeki,  
 $n_2$  współczynnik uwzględniający nierównomierność (zmiennność) geometrii przekroju,  
 $n_3$  współczynnik uwzględniający oddziaływanie lokalnych przeszkód,  
 $n_4$  współczynnik uwzględniający wpływ zarastania,  
 $m$  współczynnik uwzględniający wpływ układu poziomego czyli krzywizny trasy koryta.

Charakterystyczne wartości „n” dla metody COWANA przedstawia tabela poniżej (**Tab. 5**).

Tab. 5 – Charakterystyczne wartości współczynników szorstkości „n” dla metody COWANA

Symbol	Opis		Wartość
$n_0$	Rodzaj materiału	Gлина, ił	0.015 – 0.018
		Piasek	0.018 – 0.022
		Drobny żwir	0.022 – 0.026
		Gruby żwir	0.026 – 0.030
		Skały	0.025 – 0.030
$n_1$	Stopień nieregularności liniowej	Koryto regularne	0.000
		Koryto o małej nieregularności	0.000 – 0.010
		Koryto o średniej nieregularności	0.010 – 0.020
		Koryto o dużej nieregularności	0.020
$n_2$	Zmiany przekroju poprzecznego	Przekrój stały	0.000
		Zmiany sporadyczne	0.000 – 0.010
		Zmiany częste	0.010 – 0.015
$n_3$	Wpływ lokalnych przeszkód	Brak przeszkód	0.000
		Nieliczne przeszkody	0.000 – 0.015
		Znaczne przeszkody	0.015 – 0.030
		Liczne przeszkody	0.030 – 0.060
$n_4$	Wpływ zarastania	Brak	0.000
		Porost niski	0.000 – 0.010
		Porost średni	0.010 – 0.025
		Porost wysoki	0.025 – 0.050
		Porost bardzo wysoki	0.050 – 0.100
$m$	Stopień zakrzywienia trasy	Mały	1.000
		Średni	1.000 – 1.150
		Duży	1.150 – 1.300

Właściwe oszacowanie oporów przepływu podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- sposób oszacowania wartości współczynnika szorstkości dla koryta głównego oraz prawej i lewej terasy zalewowej.

#### 8.1.8. Kalibracja i weryfikacja modelu

Ze względu na fakt, że proces kalibracji i weryfikacji modeli dynamicznych jest znacznie trudniejszy niż modeli statycznych, zasady kalibracji i weryfikacji zostały podane na przykładzie modelowania dynamicznego 1D (model ruchu nieustalonego).

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 przepływów i stanów wody w profilu podłużnym rzeki. Zgodność ta sprowadza się do uzyskania zbieżnych hy-

drogramów przepływów i stanów wody, zarówno pod względem wartości jak i czasu w punktach kalibracyjnych (o znanych wartościach historycznych  $Q(t)$  i  $H(t)$ ).

Weryfikacja modelu wykonywana jest na wezbraniu powodziowym innym niż wezbranie, dla którego wykonano kalibrację. Polega na ocenie zgodności hydrogramów historycznych i obliczeniowych  $Q(t)$  i  $H(t)$  pod względem wartości i czasu w tych samych punktach oraz w oparciu o te same parametry modelu, dla których wykonano kalibrację.

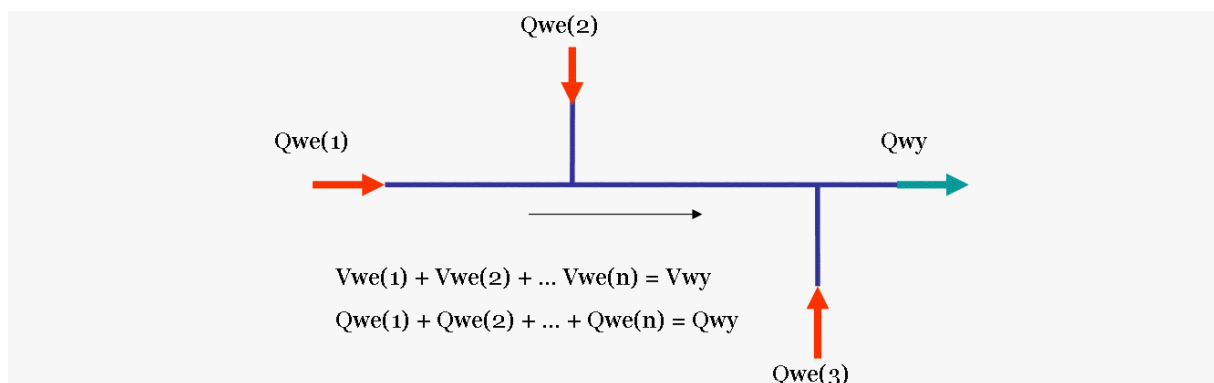
W przypadku niezadowalających wyników weryfikacji skonstruowany model wymaga rzetelnej analizy oraz wprowadzenia niezbędnych poprawek. W takim przypadku proces kalibracji i weryfikacji musi zostać powtórzony aż do uzyskania wiarygodnych wyników.

W przypadku braku danych dla kalibracji i weryfikacji modelu (rzeki niekontrolowane), ocena jego jakości musi zostać oparta na ocenie eksperckiej lub przy wykorzystaniu wiarygodnych wyników obliczeń hydraulicznych jakie już zostały wykonane dla danego odcinka rzeki. W tym przypadku wyniki obliczeń historycznych traktujemy jedynie jako płaszczyznę porównawczą a nie wzorcową.

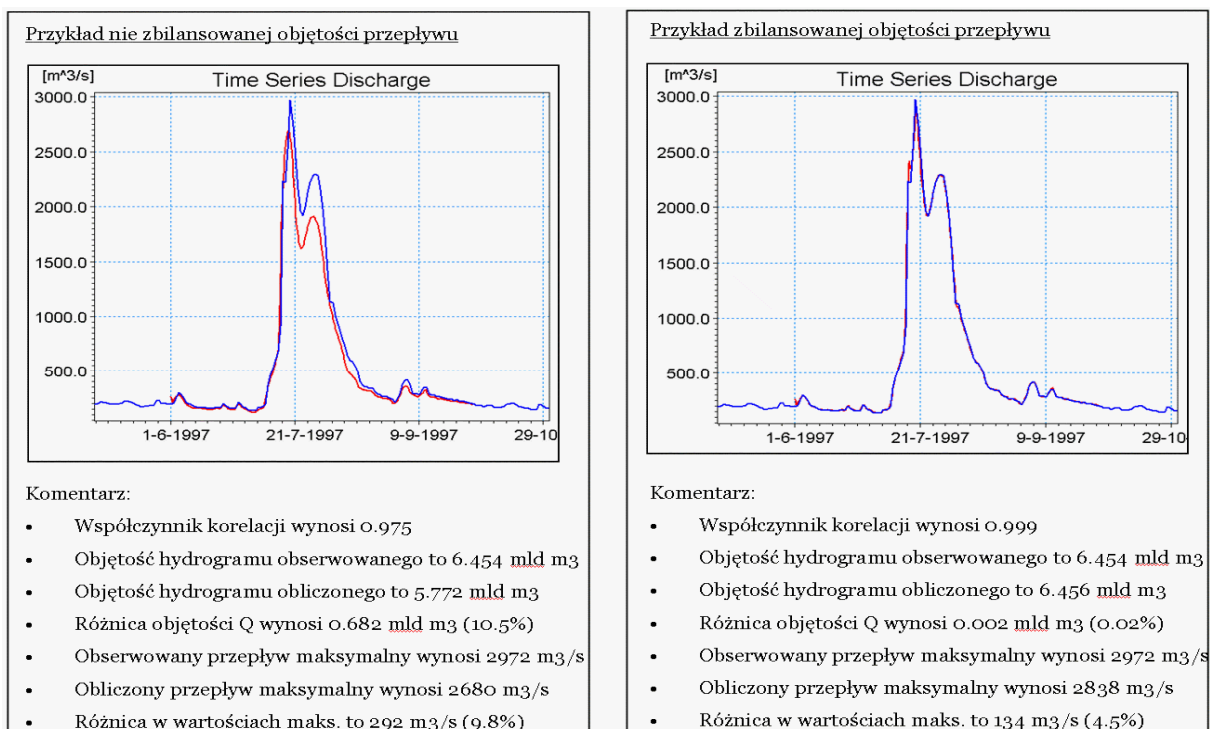
W przypadku procesu kalibracji i weryfikacji modelu ruchu nieustalonego istnieją 3 podstawowe zasady przedstawione poniżej

- Zasada zachowania zgodności wartości  $Q$  i objętości  $V$  przepływów wody (**Rys. 17**) (**Rys. 18**) - polega na tym aby objętość wody wprowadzana w dłuższym okresie czasu, w punktach wejściowych modelu była zgodna z objętością wody w kolejnych punktach bilansujących (wodowskazowych) modelu oraz w punkcie zamykającym model.

Rys. 17 – Zasada bilansowania wartości  $Q$  i objętości przepływu  $V$

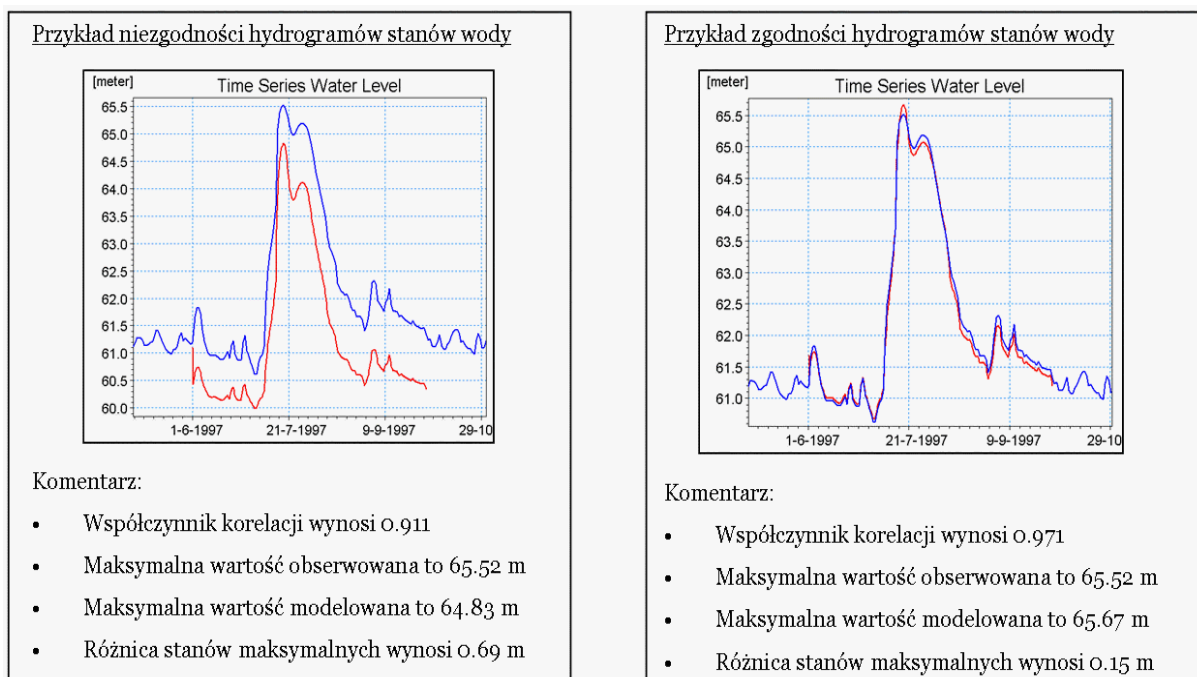


Rys. 18 – Przykład nie zbilansowanej i zbilansowanej objętości przepływu Q



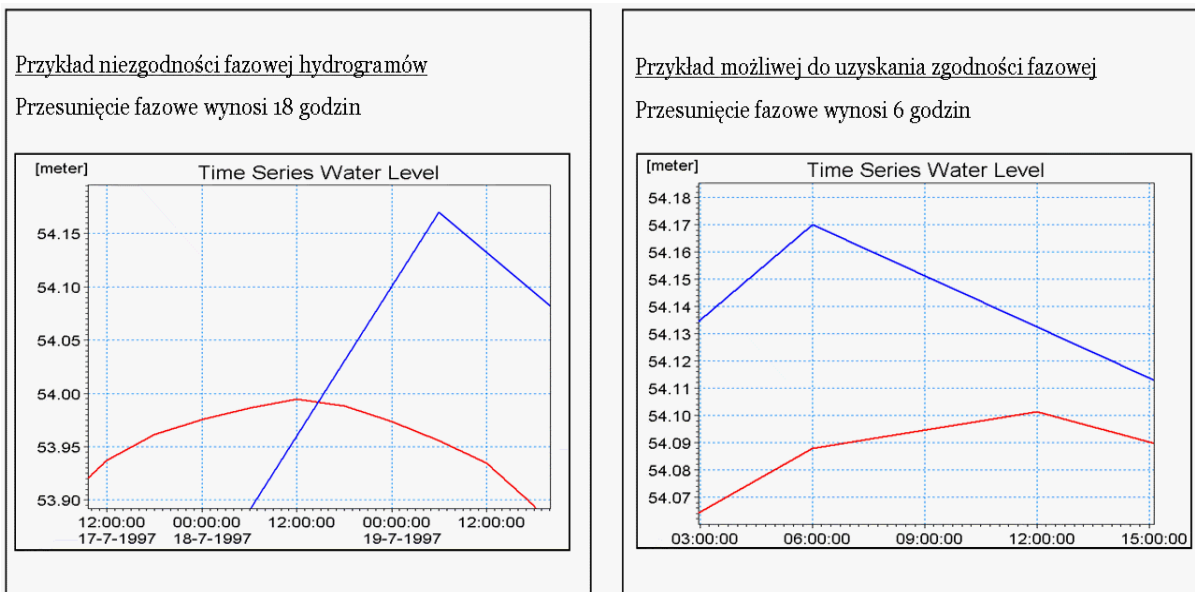
- Zasada zachowania zgodności stanów wody **(Rys. 19)** - polega na tym aby doprowadzić do sytuacji zgodności wartości (hydrogramów) stanów wody obserwowanych i modelowanych w określonych punktach kalibracyjnych oraz dla całego okresu obliczeniowego. Dla punktów nie kalibracyjnych (bez płaszczyzny porównawczej) dobór parametrów modelu odbywa się na podstawie rzetelnej analizy lokalnych warunków przepływu i ma charakter ekspercki.

Rys. 19 – Przykład nie zgodności i zgodności stanów wody H



- Zasada zgodności fazowej hydrogramów przepływów  $Q$  i stanów wody  $H$  (**Rys. 20**) - polega na tym aby doprowadzić do sytuacji zgodności fazowej (czasowej) hydrogramów przepływów oraz stanów wody obserwowanych i modelowanych w określonych punktach kalibracyjnych.

Rys. 20 – Przykład nie zgodności i zgodności fazowej hydrogramów  $Q$  i  $H$



Kryteria kalibracji i weryfikacji modelu to założone, dopuszczalne różnice pomiędzy wartościami rzeczywistymi i modelowanymi w zakresie:

- bilansowania objętości przepływów  $V$
- wartości maksymalnych przepływów  $Q(\max)$
- wartości maksymalnych stanów wody  $H(\max)$
- przesunięcia fazowego hydrogramów  $Q$  i  $H$
- zgodności hydrogramów  $Q$  i  $H$  w całym zakresie

**Przyjmuje się następujące kryteria kalibracji (dopuszczalne różnice):**

- objętość przepływu – max 10%
- maksymalne przepływy – max 10%
- maksymalne stany – max 10 cm
- maksymalne przesunięcie fazowe – 12 godzin (dla danych z krokiem czasowym 24 h)
- zgodność hydrogramów  $H$  i  $Q$  - współczynnik korelacji  $> 0.98$

**Przyjmuje się następujące kryteria weryfikacji (dopuszczalne różnice):**

- objętość przepływu – max 10%
- maksymalne przepływy – max 10%
- maksymalne stany – max 20 cm
- maksymalne przesunięcie fazowe – 12 godzin (dla danych z krokiem czasowym 24 h)
- zgodność hydrogramów  $H$  i  $Q$  - współczynnik korelacji  $> 0.96$

Właściwa kalibracja i weryfikacja podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- wartości uzyskane dla każdego z parametrów kalibracji i weryfikacji modelu,
- spełnienie kryteriów kalibracji i weryfikacji.

### 8.1.9. Obliczenia symulacyjne

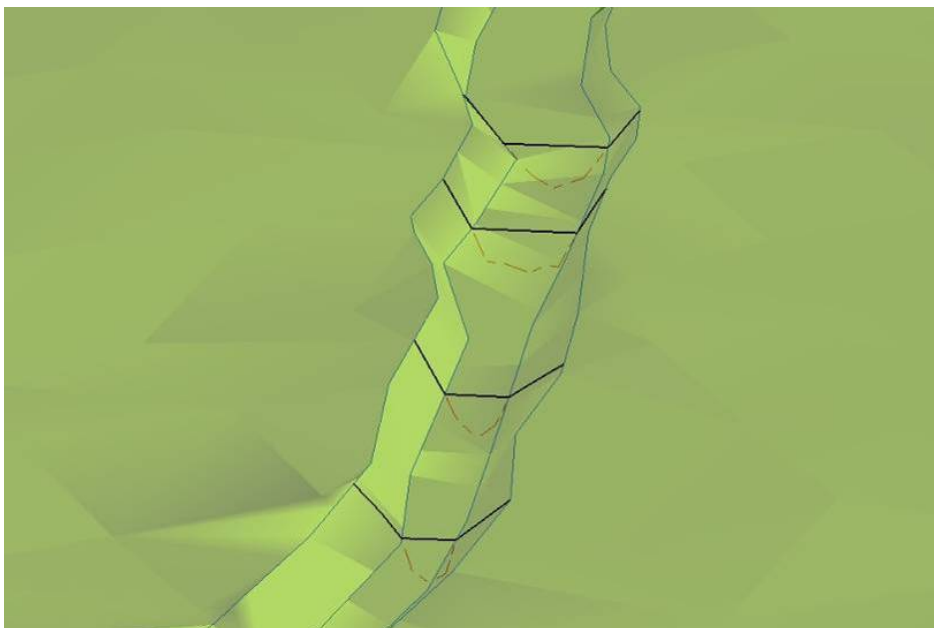
Obliczenia symulacyjne przeprowadza się o zestaw warunków brzegowych odpowiadających założonym scenariuszom powodziowym.

## 8.2. Modelowanie 2D powodzi rzecznych

Wyniki modelowania hydraulicznego dwuwymiarowego (2D) dostarczają szczegółowych informacji na temat rozkładu głębokości wody, prędkości oraz kierunku przepływu dla całego obszaru objętego modelowaniem. Jednocześnie modelowanie to jest procesem niezwykle praco- i czasochłonnym. Z uwagi na ten fakt modele dwuwymiarowe należy wykonywać jedynie dla obszarów wszystkich miast wojewódzkich i miast na prawach powiatu oraz innych o liczbie mieszkańców przekraczającej 100 000 osób. Zapisy powyższe dotyczą obszarów, dla których wstępna ocena ryzyka powodziowego wykazała konieczność opracowania map zagrożenia powodziowego. Nie wyklucza się opracowania modeli dwuwymiarowych dla mniejszych miast zlokalizowanych na zbiegu kilku cieków, dla których ryzyko powodziowe określono jako wysokie.

W ramach opracowywania map zagrożenia powodziowego zaleca się, aby dla obszarów wskazanych dla modelowania 2D wykonać modele hybrydowe (1D/2D), z uwagi na cel jakim jest analiza przepływu wielkich wód oraz dla ograniczenia kosztów i czasu obliczeń. Dopuszcza się opracowanie modeli 2D tj. uwzględniających cały obszar objęty modelem (zarówno koryta cieków jak i obszary przepływu wielkich wód) pamiętając, iż numeryczny model koryta cieku wykonać można bazując na pomiarach echosondami lub za pomocą pomiaru bezpośredniego.

Rys. 21 – Połączenie modelu 1D i 2D



Każdy z modeli hybrydowych (1D/2D) wykonanych dla potrzeb kartowania map zagrożenia powodziowego ma się składać z jednowymiarowego modelu dla koryt cieków celem określenia napęgnięć (które zarazem stanowiąc będą warunki początkowe dla modelu dwuwymiarowego) oraz modelu dwuwymiarowego dla analizy obszarów zalewowych. Narzędzie informatyczne, na którym będzie bazować model 1D/2D ma umożliwiać analizy zarówno ruchu ustalonego jak i nieustalonego.

Modele hybrydowe 1D/2D należy budować zgodnie z punktami poniżej.



### 8.2.1. Opracowanie modeli 1D na potrzeby modelowania 2D

Etap ten obejmuje opracowanie modeli jednowymiarowych zgodnie z przedstawionymi wcześniej wytycznymi dotyczącymi modelowania 1D. Różnica w ich opracowywaniu polega na tym, iż w modelach 1D wykonywanych dla potrzeb budowy modeli 1D/2D należy ograniczyć zakres przekroi poprzecznych do samego koryta cieku (tj. do górnej krawędzi skarp brzegowych) oraz zagęścić przekroje poprzeczne, tak aby odległości pomiędzy nimi nie przekraczały 100 m (zagęszczenia należy dokonać w oparciu o bezpośrednie pomiary terenowe bądź bazując na algorytmach interpolacji zawartych w oprogramowaniu do modelowania).

Właściwe opracowanie modeli 1D na potrzeby modelowania 2D podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- poprawność budowy modeli jednowymiarowych wykonanych w ramach przedmiotowego etapu zgodnie z kryteriami oceny dla modeli jednowymiarowych zawartych w pkt. 8.1,
- przyjęcie punktów ograniczających koryto główne,
- sposób interpolacji przekrojów poprzecznych,

### 8.2.2. Wprowadzenie NMT do modelu 2D

Dla modelowania dwuwymiarowego niezwykle istotny jest numeryczny model terenu, na którego siatce prowadzone są obliczenia rzędnych zwierciadła wody, prędkości oraz kierunków przepływu. Przy implementacji NMT do modelu należy uwzględnić linie nieciągłości takie jak obwałowania, skarpy czy nasypy a także obiekty kubaturowe (budynki), które w istotny sposób mogą wpływać na zasięg terenów zalewowych.

W przypadku gdy do budowy modelu hydraulicznego będzie wykorzystywany NMT w postaci struktury GRID należy przyjąć wielkość oczka obliczeniowego dostosować do charakterystyki zlewni oraz wielkości cieku objętego modelowaniem. Jako wielkość wyjściową sugeruje się wielkość oczka obliczeniowego o rozmiarze 3x3 m.

Szczegółowe parametry NMT dla potrzeb modelowania hydraulicznego podano w „Metodyce opracowania produktów geodezyjnych i kartograficznych 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”.

Właściwa implementacja NMT w modelu 2D podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- rzędne zaktualizowanego NMT,
- inwentaryzacja obiektów kubaturowych,
- poprawność implementacji obiektów kubaturowych do NMT,

### 8.2.3. Identyfikacja oporów przepływu

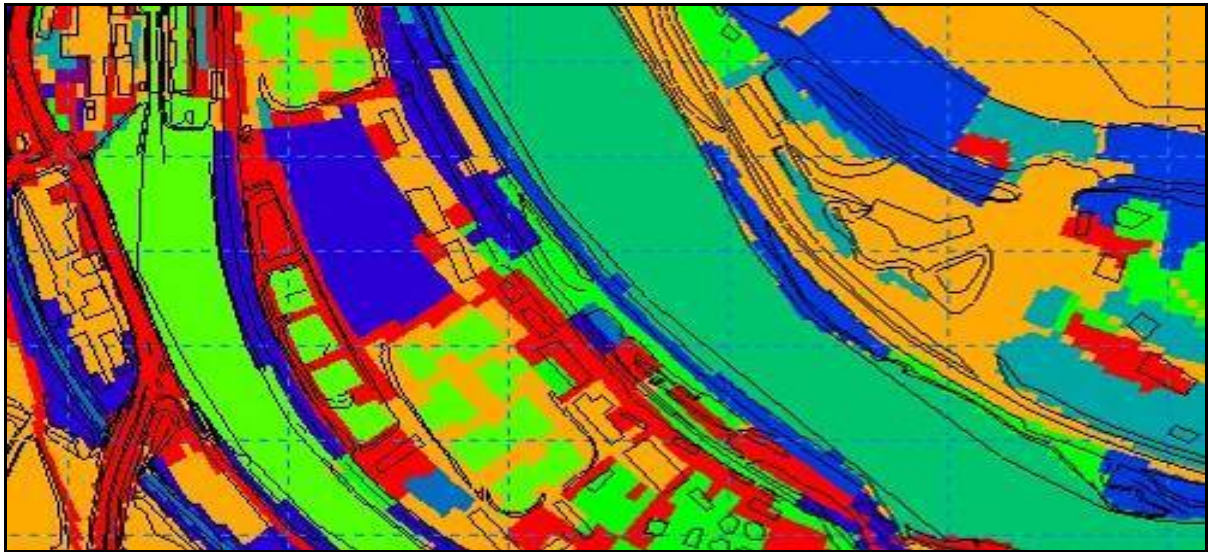
Podstawowym parametrem służącym kalibracji w modelu hydrodynamicznym jest współczynnik szorstkości, który należy ustalić przestrzennie dla obszarów o podobnej charakterystyce zagospodarowania. Wartości współczynnika dla poszczególnych klas użytkowania terenu należy pozyskać z tablic hydraulicznych, pamiętając o przyjętej formule jego obliczania (tzn. MANNINGA „n”).

Klasy użytkowania terenu należy pozyskać z Bazy Danych Obiektów Topograficznych, a w przypadku jej braku dokonać wektoryzacji w oparciu o ortofotomapy i mapy topograficzne.

W następnej kolejności należy utworzyć plik przestrzenny zawierający informację nt. wartości

współczynnika szorstkości w poszczególnych obszarach zagospodarowania (tzw. numeryczny model współczynników szorstkości), co pokazano poniżej na obrazie pliku rastrowego zawierającego informacje o współczynniku szorstkości.

Rys. 22 – Numeryczny model współczynników szorstkości



Właściwa identyfikacja oporów przepływu podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

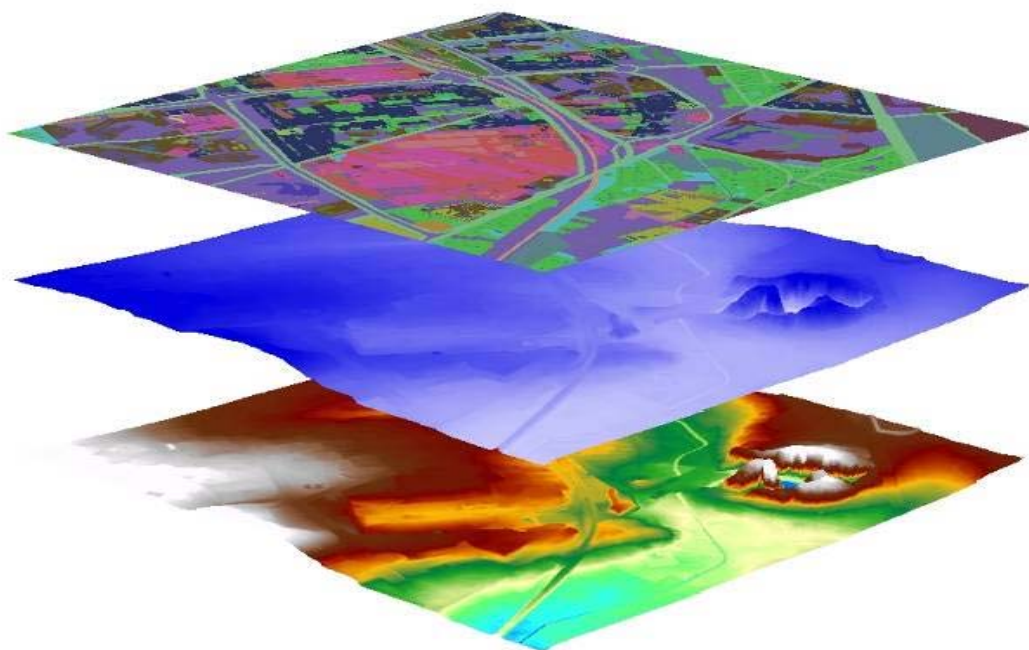
Zakres kontroli:

- dobór wartości współczynnika szorstkości,

#### 8.2.4. Opracowanie modelu 2D

Etap ten polega na przygotowaniu modelu dwuwymiarowego (Rys. 23) dla teras zalewowych poprzez połączenie numerycznego modelu terenu dla obszaru objętego modelowaniem dwuwymiarowym z numerycznym modelem powierzchni wody dla warunków początkowych (dla przyjętego schematu budowy modelu 1D/2D tożsamego z NMT) oraz wprowadzenie do modelu 1D/2D numerycznego modelu współczynników szorstkości).

Rys. 23 – Przygotowanie modelu 2D



Opracowanie modelu 2D podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

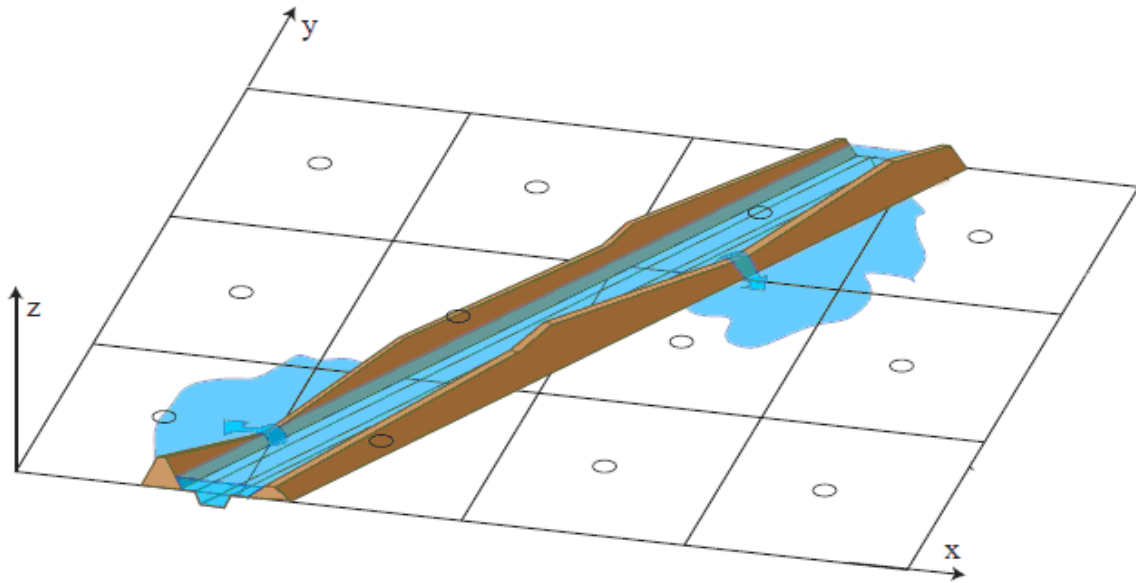
Zakres kontroli:

- implementacja w modelu 2D numerycznego modelu terenu;
- implementacja w modelu 2D numerycznego modelu powierzchni wody;
- implementacja w modelu 2D numerycznego modelu współczynników szorstkości;

#### 8.2.5. Połączenie modeli 1D i 2D

Celem etapu jest opracowanie zintegrowanych modeli jedno- i dwuwymiarowych poprzez połączenie modeli jednowymiarowych koryt cieków z modelem dwuwymiarowym reprezentującym tereny zalewowe (Rys. 24), oraz w przypadkach gdzie tereny zalewowe w modelu 1D są reprezentowane za pomocą kanałów równoległych połączenie ich z NMT reprezentującym teren zalewowy w modelu 2D.

Rys. 24 – Połączenie modeli 1D i 2D



Połączenie modeli 1D i 2D podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- Sposób połączenia modeli 1D i 2D, w tym:
  - połączenie kryta głównego z terasami zalewowym
  - połączenie teras zalewowych na styku modeli 1D i 2D

#### 8.2.6. Określenie warunków brzegowych

Warunki brzegowe w modelach 1D/2D należy określić dla modeli jednowymiarowych (1D) zgodnie z wytycznymi do punktu 8.1 dla budowy modelu jednowymiarowego.

Określenie warunków brzegowych podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- identyfikacja wszystkich posterunków wodowskazowych dla modelowanego obszaru,
- wybór cieków niekontrolowanych, które zostaną uwzględnione jako warunki brzegowe w modelu hydraulicznym,
- wyznaczenie warunków brzegowych niezbędnych dla właściwej budowy modelu hydraulicznego,
- ocena hydrologicznych danych wejściowych (hydrogramy przepływów, stałe wartości, krzywe natężenia przepływu).
- kilometraż punktu modelu, w którym wprowadzony zostanie warunek brzegowy,
- nazwa cieku, na którym zlokalizowany jest punkt warunku brzegowego;
- określenie brzegu cieku, na którym zlokalizowany jest dopływ skupiony;

### **8.2.7. Kalibracja i weryfikacja modelu**

---

Kalibrację i weryfikację modeli 1D/2D należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi do wytycznymi do punktu 8.1 dotyczącego budowy modelu jednowymiarowego.

Właściwa kalibracja i weryfikacja podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- wartości uzyskane dla każdego z parametrów kalibracji i weryfikacji modelu,
- spełnienie kryteriów kalibracji i weryfikacji.

### **8.2.8. Obliczenia symulacyjne**

---

Celem etapu jest wykonanie obliczeń w celu uzyskania wyników prezentujących rozwój wezbrania zgodnie ze scenariuszami powodziowymi wynikającymi z zapisów Dyrektywy Powodziowej i projektu nowelizacji ustawy Prawo Wodne. Wyniki obliczeń powinny zawierać rozkład głębokości, prędkości oraz kierunki przepływu wody.

## **8.3. Modelowanie powodzi morskich**

---

Wezbrania sztormowe wywoływane są przez silne wiatry sztormowe, towarzyszące przechodzeniu układów niżowych nad Morzem Bałtyckim.

Znaczne podniesienie się poziomu wód Bałtyku hamuje odpływ rzek do morza i powoduje spiętrzenie wody w ujściowych odcinkach rzek i na zalewach przybrzeżnych, wywołując zjawisko cofki – powstanie przypowierzchniowych prądów wstecznych, przeciwnych do głównego kierunku przepływu. Zasięg oddziaływania wpływów odmorskich jest tym większy, im mniejsze są spadki zwierciadła wody w rzekach.

Z punktu widzenia zagrożenia powodziowego obszarów ujściowych rzek, szczególnie niebezpieczne jest wystąpienie spiętrzeń sztormowych podczas wystąpienia wysokich przepływów w rzece, co powoduje hamowanie spływu wody w dół rzeki i skutkuje maksymalnym podpiętrzeniem poziomu wody w sieci.

Na wielu odcinkach Morza Bałtyckiego od lat obserwuje się niekorzystne zjawiska postępującej erozji brzegów, osuwania skarp nadmorskich wydm i klifów oraz stopniowego cofania się linii brzegowej. Stwarzają one duże zagrożenie dla bezpieczeństwa powodziowego terenów przybrzeżnych a zwłaszcza znajdujących się blisko brzegu zabudowań w miejscowościach nadmorskich.

W latach 1999-2000 w ramach Projektu Celowego Nr 9T12C06997C/3636 pt. „Strategia ochrony brzegów morskich” dokonano oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego dla polskiego wybrzeża. Określono również metodyki oceny zagrożenia powodziowego oraz zasięg oddziaływania sztormowego na nabrzeża Bałtyku. W celu wypełnienia zobowiązań wynikających z Dyrektywy Powodziowej proponuje się zastosowanie przyjętych w ww. opracowaniu metodyk i wykonanie map zagrożenia powodziowego zgodnie z formatem określonym w Rozdziale 10.

W rejonie wybrzeża morskiego wyznaczanie stref zagrożenia powodziowego powinno opierać się na prostym przeniesieniu rzędnych wód o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia na cyfrowy model terenu. Na mapach zagrożenia powodziowego dla pasa nadbrzeżnego, z wyjątkiem ujściowych odcinków rzek, wystarczy przedstawić tylko strefę dla scenariusza  $p=0.2\%$  lub dla zjawiska ekstremalnego.

W rejonie zalewów i w rejonach wysokiej intensywności zainwestowania należy dopuścić w metodyce dwa rozwiązania alternatywne:

- określenie stref zagrożenia powodziowego w oparciu o numeryczny model terenu i obliczone rzędne zw. wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia,
- zastosowanie modelu 2D dla określenia położenia powierzchni zwierciadła wody na tych zbiornikach, tym przypadku, oprócz standardowych wymagań modelu 2D, należy uwzględnić m.in.: pole wiatrowe (deniwelacja zwierciadła wody) oraz dwukierunkową wymianę wód pomiędzy morzem a Zalewem.

Wyboru pomiędzy wymienionymi powyżej rozwiązaniami należy dokonać na podstawie wstępnej oceny ryzyka powodziowego.

W ujściowych odcinkach rzek (uchodzących do morza lub zalewów) wystarczy stosować model 1D. Dolnym warunkiem brzegowym modelu powinna być rzędna zwierciadła wody odpowiadająca stanom wód o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia ( $p=10\%$ ,  $1\%$  i  $0.2\%$ ) dla odbiornika (zalew, morze) (w strefie oddziaływania spiętrzeń odmorskich nie jest możliwe operowanie przepływami o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia). Ponadto, w uzasadnionych przypadkach, można wykonać dodatkowe mapy zagrożenia powodziowego dla zjawiska zatoru lodowego. Wówczas w modelu 1D lub 2D należy zmniejszyć pole przekroju w ujściu koryta rzeczno-ego o  $50\%$  i przeprowadzić wodę o prawdopodobieństwie przepływu  $10\%$ ,  $1\%$  i  $0,2\%$ .

## 9. Zasady tworzenia scenariuszy powodziowych

Zgodnie z wytycznymi Dyrektywy Powodziowej i projektu nowelizacji ustawy Prawo Wodne mapy zagrożenia powodziowego muszą zostać opracowane dla 3 podstawowych scenariuszy powodziowych:

- Scenariusz I - Niskie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(0.2\%)$  (HQ-500 lat) lub - scenariusze zdarzeń ekstremalnych, dla odcinków cieków poniżej zbiorników retencyjnych (zasięg powodzi wywołanej katastrofą lub awarią budowli piętrzących) dla wody  $Q(0.1\%)$  (HQ-1000 lat),
- Scenariusz II - Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(1\%)$  (HQ-100 lat)
- Scenariusz III – Wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi –  $Q(10\%)$  (HQ-10 lat).

Podstawą realizacji zdefiniowanych scenariuszy jest właściwe przygotowanie danych hydrologicznych w celu określenia warunków brzegowych dla hydraulicznych obliczeń symulacyjnych.

Właściwe przygotowanie danych hydrologicznych do modelowania przepływu ma ogromne znaczenie dla poprawnego odzwierciedlenia rozkładu zwierciadła wody w profilu podłużnym i w konsekwencji na zasięg przestrzenny stref zalewowych.

Z zestawem danych hydrologicznych, które mogą być zbiorem przepływów o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, lub dysponując krzywymi prawdopodobieństwa pojawiania się przepływów maksymalnych dla posterunków wodowskazowych na badanych odcinkach rzek (rzeka główna + dopływy), należy postępować według określonego schematu.

Schemat rozkładu przepływów prawdopodobnych jest oparty na współczynniku przyrostu powierzchni zlewni  $\alpha(F)$ , określanemu dla wszystkich zidentyfikowanych dopływów punktowych (P) i jednego dopływu bocznego zlewni różnicowej (B), znajdujących się pomiędzy dwoma przekrojami wodowskazowymi o znanych wartościach przepływów prawdopodobnych  $Q_{p\%}$ .

Algorytm ten przedstawia się następująco:



### Krok 1

Przyjęcie schematu obliczeniowego SO

### SO

### Krok 2

Obliczenie przyrostu przepływów prawdopodobnych  $\Delta Q_{p\%}$  dla wszystkich odcinków rzek znajdujących się pomiędzy przekrojami wodowskazowymi o znanych wartościach  $Q_{p\%}$ .

$$\Delta Q_{p\%} = Q_{p\%}(W_n) - Q_{p\%}(W_{n-1})$$

### Krok 3

Określenie powierzchni zlewni w przekrojach wodowskazowych  $F_{(Wn)}$ .

$$F_{(Wn)}$$

### Krok 4

Określenie przyrostu powierzchni zlewni między przekrojami wodowskazami  $\Delta F_{(Wn)}$ .

$$\Delta F_{(Wn)} = F_{(Wn)} - F_{(Wn-1)}$$

### Krok 5

Określenie powierzchni zlewni powyżej  $F_{(gn)}$  i poniżej  $F_{(dn)}$  dopływów punktowych.

$$F_{(gn)} ; F_{(dn)}$$

### Krok 6

Określenie powierzchni dopływu punktowego  $\Delta F_{(Pn)}$ .

$$\Delta F_{(Pn)} = F_{(gn)} - F_{(dn)}$$

### Krok 7

Określenie powierzchni dopływów bocznych  $\Delta F_{(Bn)}$ .

$$\Delta F_{(Bn)} = F_{(gn)} - F_{(dn-1)}$$

### Krok 8

Określenie sumy powierzchni dopływów bocznych  $\Sigma \Delta F_{(Bn)}$  na odcinkach rzek pomiędzy wodowskazami o znanych wartościach przepływów prawdopodobnych  $Q_{p\%}$ .

$$\Sigma \Delta F_{(Bn)} = \Delta F_{(B1)} + \dots + \Delta F_{(Bn)}$$

### Krok 9

Obliczenie współczynnika przyrostu zlewni  $\alpha_{(Fn)}$  dla zidentyfikowanych dopływów punktowych oraz dopływu bocznego zlewni różnicowej.

Dla dopływów punktowych:

$$\alpha_{(Fn)} = \frac{\Delta F_{(Pn)}}{\Delta F_{(Wn)}}$$

Dla dopływu bocznego zlewni różnicowej:

$$\alpha_{(F_n)} = \frac{\Delta F_{(B_n)}}{\Delta F_{(W_n)}}$$

**Krok 10**

Określenie warunków dla obliczeń rozkładu przepływów prawdopodobnych.

Dla dopływów punktowych:

**Jeżeli  $\Delta Q_{\%} > 0$  to  $0 < \alpha_{(F)} < 1$**

**Jeżeli  $\Delta Q_{\%} < 0$  to  $\alpha_{(F)} = 0$**

Dla dopływu bocznego zlewni różnicowej:

**Jeżeli  $\Delta Q_{\%} > 0$  to  $0 < \alpha_{(F)} < 1$**

**Jeżeli  $\Delta Q_{\%} < 0$  to  $\alpha_{(F)} = 1$**

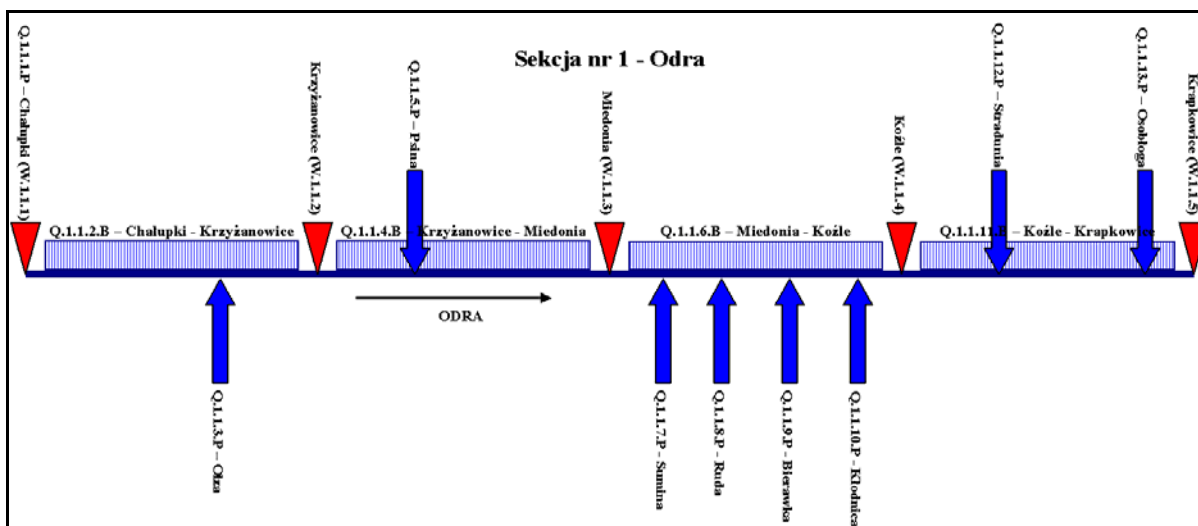
**Krok 11**

Określenie rozkładu przepływów prawdopodobnych – wartości przepływów dla dopływów punktowych oraz dopływu bocznego zlewni różnicowej na odcinkach rzek pomiędzy wodowskazami o znanych wartościach przepływów prawdopodobnych.

$$Q_{(P,B)} = \alpha_{(F_n)} \cdot \Delta Q_{p\%}$$

**PRZYKŁAD**

Rys. 25 – Schemat obliczeniowy dla rozkładu  $Q(\%)$  – Rzeka Odra (Chałupki – Krapkowice)



Rys. 26 – Przyrost przepływów prawdopodobnych  $\Delta Q(\%)$

Sekcja nr 1 - Odra (Chałupki - Krapkowice)								
Odcinek	Rzeka	Od [km]	Do [km]	$\Delta Q(20\%)$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta Q(10\%)$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta Q(2\%)$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta Q(1\%)$ [m <sup>3</sup> /s]	$\Delta Q(0.1\%)$ [m <sup>3</sup> /s]
O.1.1.1	Odra	20.700 (Chałupki)	33.600 (Krzyżanowice)	145	191	298	345	501
O.1.1.2	Odra	33.600 (Krzyżanowice)	55.500 (Miedonia)	52	65	97	111	161
O.1.1.3	Odra	55.500 (Miedonia)	97.200 (Koźle)	-77	-148	-265	-291	-260
O.1.1.4	Odra	97.200 (Koźle)	124.700 (Krapkowice)	70	94	161	196	344

Rys. 27 – Współczynnik przyrostu zlewni  $\alpha(F)$ 

Seksja nr 1 - Odra (Chalupki - Krapkowice)										
L.p.	Rzeka	Punkt	Km	F(W)/F(g)	F(W)/F(d)	$\Delta F(W)$	$\Delta F(P)$	$\Delta F(B)$	$\Sigma \Delta F(B)$	$\alpha(F)$
-	-	-	[km]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	-
P.1.1.1	Odra	Chalupki	20.700	4 666.2	4 666.2					
P.1.1.2	Odra	ujście Olzy	27.700	4 724.4	5 842.0		1 117.6	58.2		0.9247
P.1.1.3	Odra	Krzyżanowice	33.600	5 874.8	5 874.8	1 208.6		32.8	91.0	0.0753
P.1.1.4	Odra	ujście Psiny	41.300	5 968.5	6 641.4		672.9	93.7		0.7742
P.1.1.5	Odra	Miedonia	55.500	6 744.0	6 744.0	869.2		102.6	196.3	0.2258
P.1.1.6	Odra	ujście Suminy	65.300	6 834.2	6 952.5		118.3	90.2		0.0487
P.1.1.7	Odra	ujście Rudej	66.000	6 952.5	7 368.9		416.4	0.0		0.1714
P.1.1.8	Odra	ujście Bierawki	82.300	7 420.2	7 813.8		393.6	51.3		0.1620
P.1.1.9	Odra	ujście Kłodnicy	94.000	8 001.8	9 086.6		1 084.8	188.0		0.4465
P.1.1.10	Odra	Koźle	97.200	9 173.6	9 173.6	2 429.6		87.0	416.5	0.1714
P.1.1.11	Odra	ujście Straduni	115.700	9 321.8	9 601.1		279.3	148.2		0.1805
P.1.1.12	Odra	ujście Osobłogi	124.600	9 727.4	10 720.6		993.2	126.3		0.6420
P.1.1.13	Odra	Krapkowice	124.700	10 720.6	10 720.6	1 547.0			274.5	0.1774

Rys. 28 – Algorytm rozkładu Q(%)

Seksja nr 1 - Odra (Chalupki - Krapkowice)				
Dopływ	Punkt/Odcinek	Q% lub $\Delta Q\%$	$\alpha(F)$	Formuła
[ ]	[km]	[m <sup>3</sup> /s]	[ ]	[m <sup>3</sup> /s]
Q.1.1.1.P	20.700 (wod. Chalupki)	$Q\% = Q\%(Chalupki)$	-	$Q.1.1.1.P = Q\%$
Q.1.1.2.B	20.700 (wod. Chalupki) 33.600 (wod. Krzyżanowice)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Chalupki - Krzyżanowice)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0753$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 1.0000$	$Q.1.1.2.B = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.3.P	27.700 (rz. Olza)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Chalupki - Krzyżanowice)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.9247$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.3.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.4.B	33.600 (wod. Krzyżanowice) 55.500 (wod. Miedonia)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Krzyżanowice - Miedonia)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.2258$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 1.0000$	$Q.1.1.4.B = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.5.P	41.300 (rz. Psina)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Krzyżanowice - Miedonia)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.7742$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.5.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.6.B	55.500 (wod. Miedonia) 97.200 (wod. Koźle)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Miedonia - Koźle)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.1714$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 1.0000$	$Q.1.1.6.B = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.7.P	65.300 (rz. Sumina)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Miedonia - Koźle)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0487$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.7.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.8.P	66.000 (rz. Ruda)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Miedonia - Koźle)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.1714$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.8.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.9.P	82.300 (rz. Bierawka)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Miedonia - Koźle)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.1620$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.9.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.10.P	94.000 (rz. Kłodnica)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Miedonia - Koźle)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.4465$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.10.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.11.B	97.200 (wod. Koźle) 124.700 (wod. Krapkowice)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Koźle - Krapkowice)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.1774$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 1.0000$	$Q.1.1.11.B = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.12.P	115.700 (rz. Stradunia)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Koźle - Krapkowice)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.1805$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.12.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$
Q.1.1.13.P	124.600 (rz. Osobłoga)	$\Delta Q\% = \Delta Q\%(Koźle - Krapkowice)$	Jeżeli $\Delta Q\% > 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.6420$ Jeżeli $\Delta Q\% < 0 \Rightarrow \alpha(F) = 0.0000$	$Q.1.1.13.P = \alpha(F) \times \Delta Q\%$

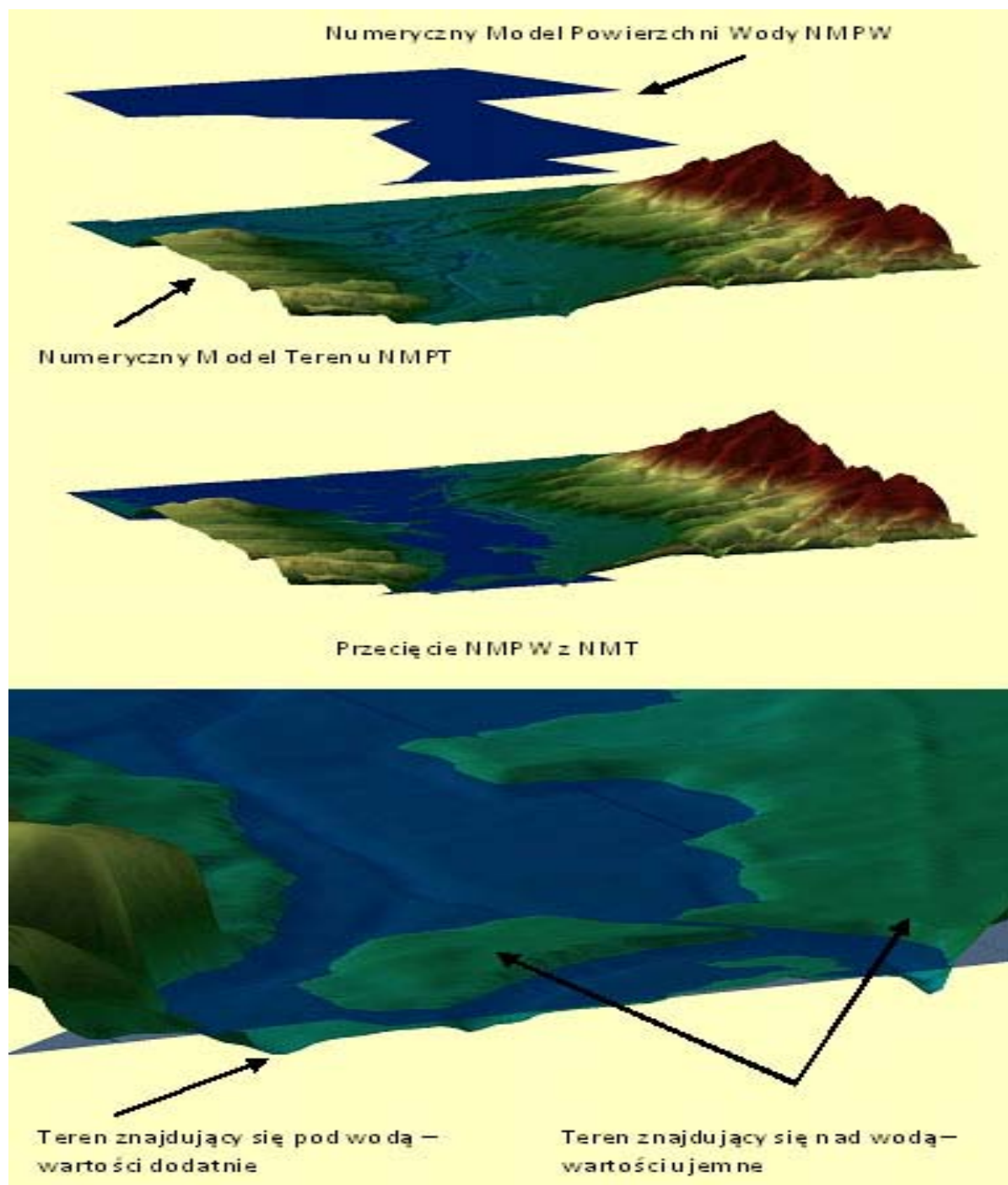
Rys. 29 – Tabela wyników rozkładu Q(%)

Seksja nr 1 - Odra (Chalupki - Krapkowice)												
Dopływ	Punkt/Odcinek	Q/ΔQ (20%)	Q/ΔQ (10%)	Q/ΔQ (2%)	Q/ΔQ (1%)	Q/ΔQ (0.1%)	$\alpha(F)$	Q(P/B) (20%)	Q(P/B) (10%)	Q(P/B) (2%)	Q(P/B) (1%)	Q(P/B) (0.1%)
[ ]	[km]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[ ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
Q.1.1.1.P	20.700 (wod. Chalupki)	600	786	1 210	1 390	1 984	-	600	786	1 210	1 390	1 984
Q.1.1.2.B	20.700 (wod. Chalupki) 33.600 (wod. Krzyżanowice)	145	191	298	345	501	0.0753	11	14	22	26	38
Q.1.1.3.P	27.700 (rz. Olza)	145	191	298	345	501	0.9247	134	177	276	319	463
<b>Bilans - wod. Krzyżanowice</b>							<b>1.0000</b>	<b>745</b>	<b>977</b>	<b>1 508</b>	<b>1 735</b>	<b>2 485</b>
Q.1.1.4.B	33.600 (wod. Krzyżanowice) 55.500 (wod. Miedonia)	52	65	97	111	161	0.2258	12	15	22	25	36
Q.1.1.5.P	41.300 (rz. Psina)	52	65	97	111	161	0.7742	40	50	75	86	125
<b>Bilans - wod. Miedonia</b>							<b>1.0000</b>	<b>797</b>	<b>1 042</b>	<b>1 605</b>	<b>1 846</b>	<b>2 646</b>
Q.1.1.6.B	55.500 (wod. Miedonia) 97.200 (wod. Koźle)	-77	-148	-265	-291	-260	1.0000	-77	-148	-265	-291	-260
Q.1.1.7.P	65.300 (rz. Sumina)	-77	-148	-265	-291	-260	0.0000	0	0	0	0	0
Q.1.1.8.P	66.000 (rz. Ruda)	-77	-148	-265	-291	-260	0.0000	0	0	0	0	0
Q.1.1.9.P	82.300 (rz. Bierawka)	-77	-148	-265	-291	-260	0.0000	0	0	0	0	0
Q.1.1.10.P	94.000 (rz. Kłodnica)	-77	-148	-265	-291	-260	0.0000	0	0	0	0	0
<b>Bilans - wod. Koźle</b>							<b>1.0000</b>	<b>720</b>	<b>894</b>	<b>1 340</b>	<b>1 555</b>	<b>2 386</b>
Q.1.1.11.B	97.200 (wod. Koźle) 124.700 (wod. Krapkowice)	70	94	161	196	344	0.1774	12	17	29	35	61
Q.1.1.12.P	115.700 (rz. Stradunia)	70	94	161	196	344	0.1805	13	17	29	35	62
Q.1.1.13.P	124.600 (rz. Osobłoga)	70	94	161	196	344	0.6421	45	60	103	126	221
<b>Bilans - wod. Krapkowice</b>							<b>1.0000</b>	<b>790</b>	<b>988</b>	<b>1 501</b>	<b>1 751</b>	<b>2 730</b>

## 10. Zasady wyznaczania stref zagrożenia powodziowego

Wyznaczenie stref zagrożenia powodziowego w oparciu o jednowymiarowe modele hydrauliczne z wykorzystaniem techniki GIS oraz NMT przebiega w następujący sposób: buduje się numeryczny model powierzchni wody (NMPW) bazujący na wynikach modelowania hydraulicznego, a następnie przecina się go z NMT. Strefa będąca wynikiem przecięcia NMT oraz NMPW jest szukaną granicą strefy zagrożenia powodziowego.

Rys. 30 – Numeryczny model terenu NMT i zwierciadła wody NMPW

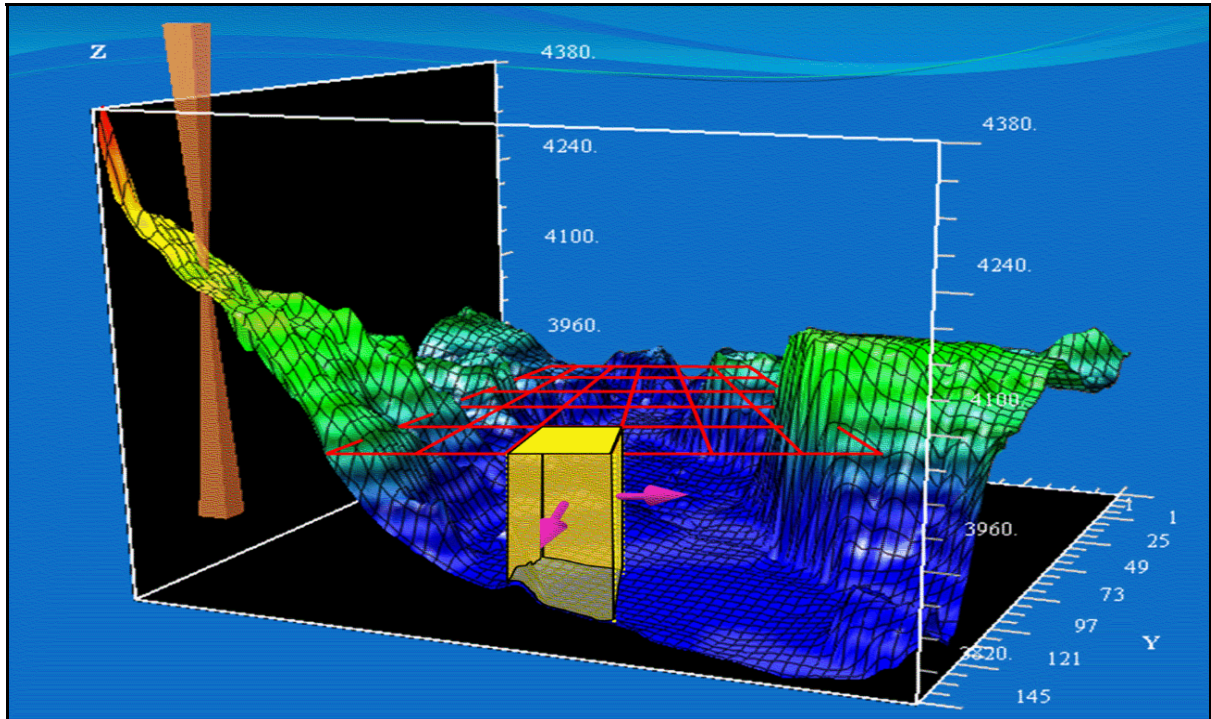


W zależności od przyjętego rodzaju modelowania hydraulicznego numeryczny model powierzchni wody może zostać opracowany w oparciu o informacje pochodzące z przekrojów po-

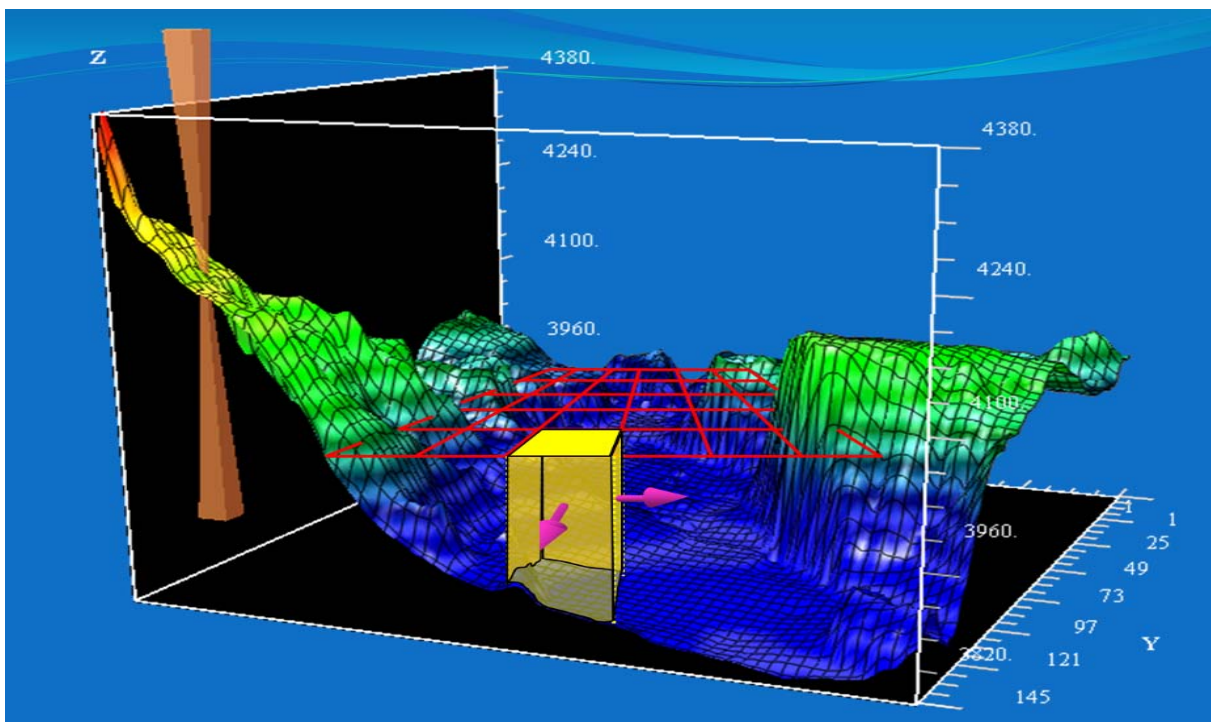


przeczynnych, do których przypisane są punkty modelowania (w przypadku modelu 1D) i zawierających informacje bazujące na uśrednionych wynikach obliczeń w osi cieku lub NMPW pochodzącego bezpośrednio z modelu dwuwymiarowego, a więc takiego, który uwzględnia spadki zwierciadła wody w kierunkach innych od równoległego do osi cieku. Do strefy bazującej na modelowaniu 2D można dodatkowo przypisać informacje dotyczące prędkości chwilowych oraz kierunków przepływu wody.

Rys. 31 – NMT i NMPW wyznaczony w oparciu o model 2D



Rys. 32 – NMT i NMPW wyznaczony w oparciu o model 3D



W przypadku stref zagrożenia powodziowego bazujących na trójwymiarowym modelu hydraulicznym (3D), można wizualizować dodatkowo informacje nt. rozkładu głębokościowego prędkości i kierunków przepływu wody (trzeci wymiar – głębokość). Strefy takie są wykorzystywane dla prezentowania zagrożenia powodziowego dla obszarów przy morskich lub w przypadku analiz dotyczących katastrof budowli piętrzących.

Technologia wyznaczania stref zagrożenia powodziowego dla potrzeb Dyrektywy Powodziowej zależy będzie od obszaru objętego tym procesem. W przypadku większości obszarów, dla których będą opracowywane strefy zagrożenia powodziowego podstawą ich wyznaczenia będą hydrauliczne modele jednowymiarowe. Dla obszaru miast podstawą stworzenia stref zagrożenia powodziowego będą hydrauliczne modele 2D (1D/2D).

Dla potrzeb wykonania map zagrożenia powodziowego dla potrzeb Dyrektywy Powodziowej w miejscach gdzie nie będzie wykonywane modelowanie 2D należy zastosować techniki GIS z wykorzystaniem Numerycznego Modelu Terenu. Podtyktowane jest to zarówno szybkością prowadzonych analiz jak i ich dokładnością uzyskanych wyników.

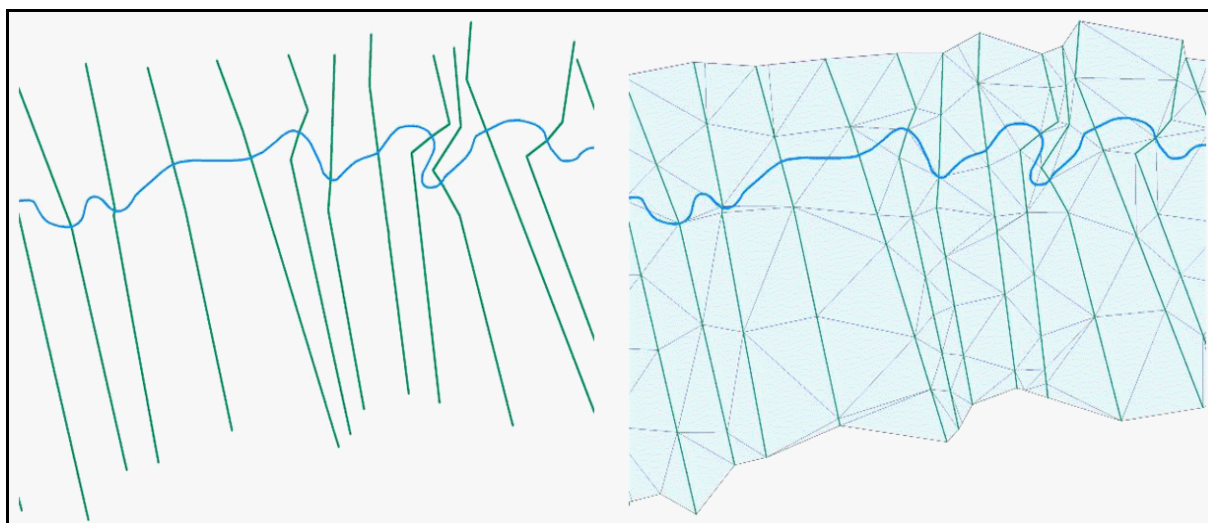
Wyznaczenie stref zagrożenia powodziowego w oparciu o NMT oraz hydrauliczny model 1D polega na przecięciu (uzyskanego na podstawie wyników modelowania) numerycznego modelu zwierciadła wody (NMPW) z numerycznym modelem terenu (NMT).

W wyniku przeprowadzonego przecięcia uzyskuje się tzw. mapę różnicową, na której wartości ujemne oznaczają wysokość nad poziomem zwierciadła wody natomiast wartości dodatnie głębokość wody w strefie zalewowej (licząc od poziomu NMT). Punkty, w których różnica wynosi zero stanowią linię graniczną, która wyznacza strefę zalewową.

Numeryczny model zwierciadła wody (NMPW) należy zbudować w oparciu o wyznaczone w przekrojach geodezyjnych oraz interpolowanych (w przypadku kiedy model generuje dodatkowe przekroje obliczeniowe) profile zwierciadła wody zwane również „izoliniami”. Izolinie wprowadza się do modelu jako zbiór linii nieciągłości o współrzędnych X, Y wynikających z lokalizacji i kształtu przekroju (przebieg izolinii jest właściwy dla kształtowania się zwierciadła wody w korycie rzeki czyli prostopadły do doliny rzeki) oraz wartości Z jako rzędnej zwierciadła wody wynikającej z przeprowadzonego modelowania.

Otrzymany zbiór izolinii należy poddać procesowi triangulacji, w przypadku tworzenia NMZW złożonego z elementów trójkątnych (model TIN) lub interpolacji (w przypadku tworzenia NMZW w postaci rastrowej – model GRID).

Rys. 33 – Model TIN - Triangulacja





Przy interpolacji można stosować jedną z poniższych metod:

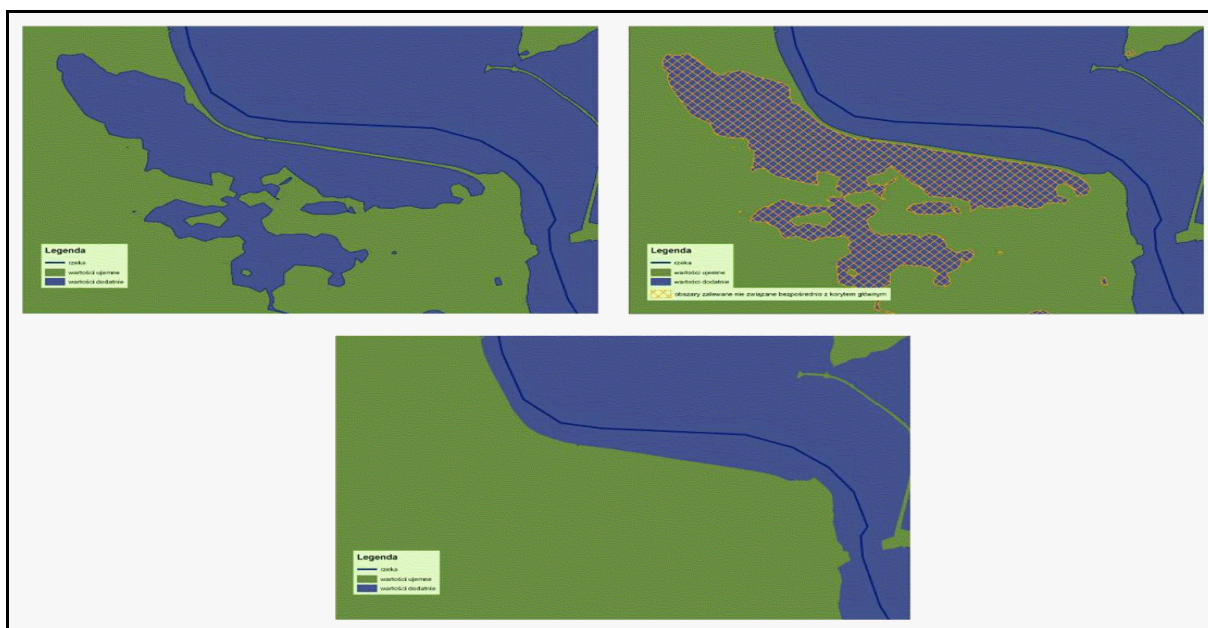
- IDW – ważone odwrotności odległości,
- SPLINE – wygładzane zakrzywienia,
- KRIGING

W przypadku wykonywania analiz w oparciu o modele (NMT oraz NMZW) w postaci trójkątów otrzymana strefa zalewowa zostaje bezpośrednio zapisana w postaci poligonowej warstwy wektorowej. W sytuacji gdy analizy prowadzone są w oparciu o modele typu GRID, aby otrzymać strefę zagrożenia powodziowego w postaci poligonowej warstwy wektorowej (niezbędnej do wykonywania zaawansowanych analiz przestrzennych w dziedzinie zagrożenia powodziowego) konieczne jest wykonanie ortogonalnych rzutów granic stref na płaszczyznę i zapisanie ich w postaci wektorowej.

Powstałe w wyniku powyższych analiz strefy zalewowe (osobno dla każdego ze scenariuszy) należy poddać interpretacji i weryfikacji poprzez odrzucenie obszarów, które nie są połączone bezpośrednio ze strefą zalewową koryta głównego.

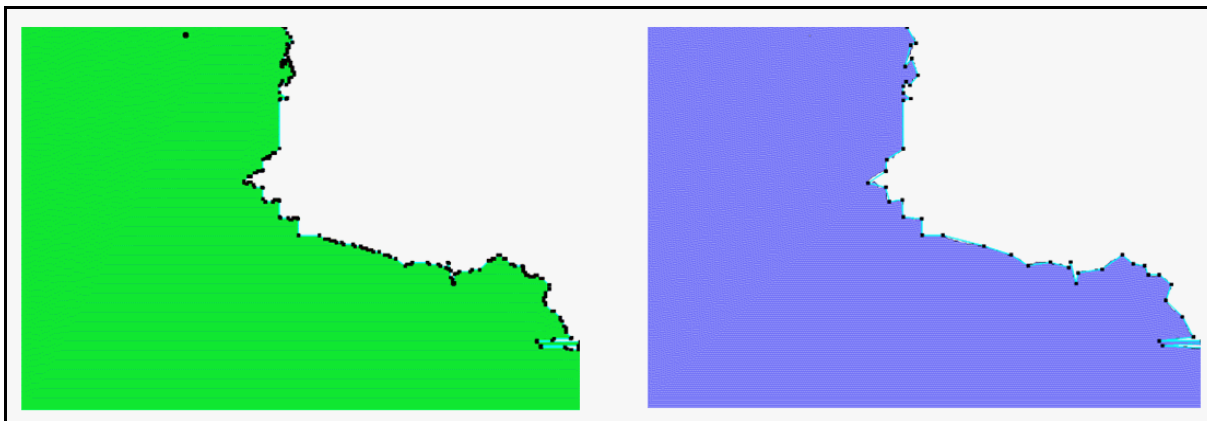
Wygenerowane w oparciu o NMT strefy zagrożenia powodziowego, które powstały na skutek przecięcia NMZW z NMT, często nie posiadają kontaktu hydraulicznego (nie łączą się bezpośrednio) ze strefą zalewową głównego koryta ciek. Obszary takie należy usunąć.

Rys. 34 – Czyszczenie strefy zagrożenia powodziowego



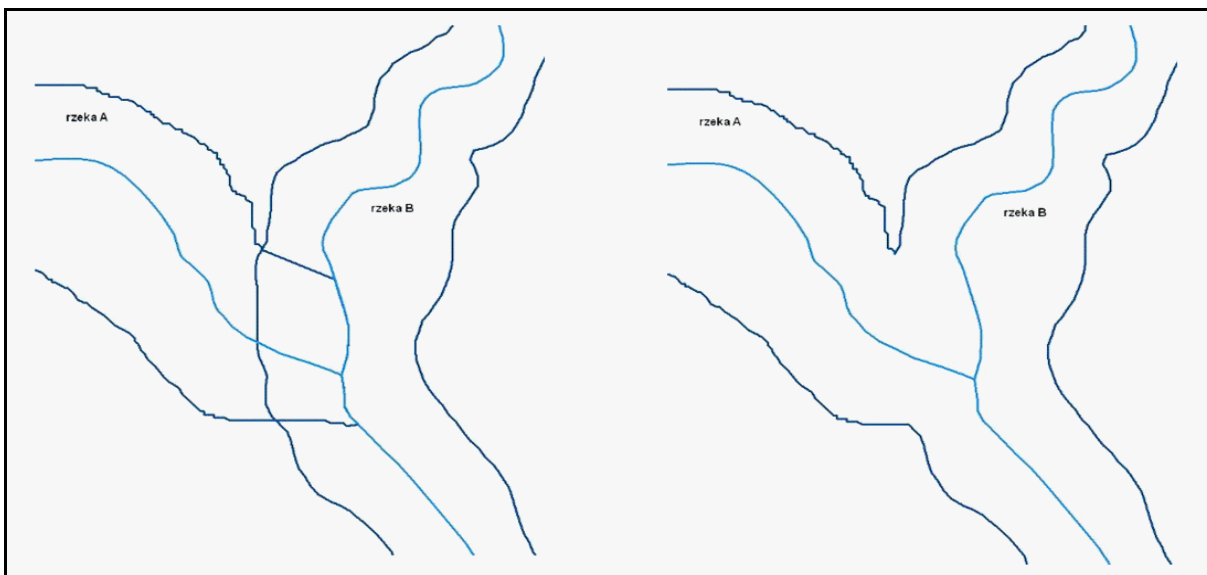
Wygenerowane w oparciu o NMT strefy zagrożenia powodziowego w postaci poligonowej warstwy wektorowej mają bardzo rozbudowaną geometrię ponieważ przy ich generowaniu w każdym charakterystycznym punkcie tj. przy każdej zmianie wartości wysokości powstaje punkt pośredni (wierzchołek) poligonu. Aby w przyszłości móc sprawniej wykonywać analizy na strefach zalewowych należy je uprościć zgodnie ze schematem pokazanym na poniższym rysunku.

Rys. 35 – Upraszczenie warstwy wektorowej strefy zagrożenia powodziowego



Powstałe dla każdej z objętych opracowaniem odcinków rzek strefy zalewowe należy dodatkowo połączyć w jeden obiekt poligonowy osobno dla każdego ze scenariuszy powodziowych poprzez zsumowanie zbiorów w oparciu o schemat zamieszczony poniżej.

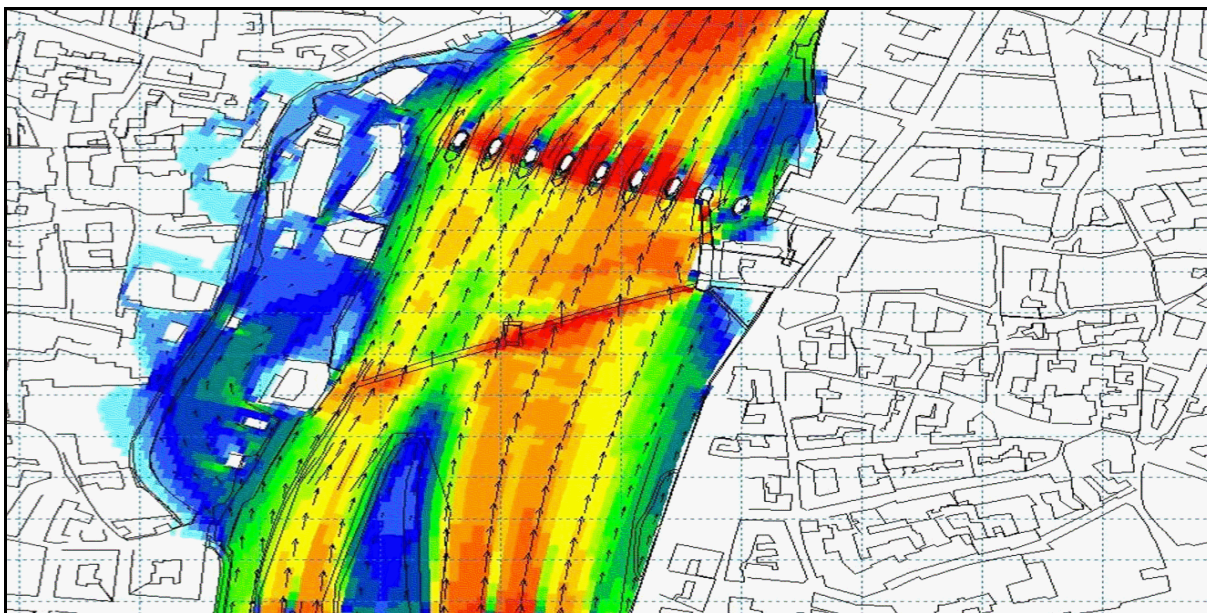
Rys. 36 – Łączenie stref zagrożenia powodziowego w ujściu rzeki



Wyznaczanie stref w oparciu o modele w postaci TIN jest znacznie szybsze i dokładniejsze, ale z kolei nie umożliwia obliczenia wartości głębokości dla dowolnego punktu znajdującego się w strefie zalewowej. W przypadku analiz prowadzonych w oparciu o modele typu GRID istnieje możliwość wyliczenia głębokości dla każdego oczka grid w strefie zalewowej, co jest niezwykle istotne przy wykonywaniu analiz związanych z wyznaczaniem ryzyka oraz szkód powodziowych.

Wyznaczenie stref zagrożenia powodziowego w oparciu o NMT oraz hydrauliczny model 2D (1D/2D) polega wykorzystaniu bezpośrednio w obliczeniach numerycznego modelu terenu (w przypadku modeli 1D NMT jest wykorzystywany dopiero w samym procesie kartowania) co pozwala na bilansowanie objętości fali powodziowej oraz określenie kierunków przepływu wody i prędkości chwilowych w każdej z komórek NMT.

Rys. 37 – Strefa ZP z rozkładem prędkości wody V otrzymana na podstawie modelu 2D



Tak obliczone zwierciadło wody jest opisane za pomocą punktów o współrzędnych X, Y, Z, pokrywających cały obszar przepływu. Programy do modelowania 2D umożliwiają wyeksportowanie wyników modelowania do plików czytanych przez programy GIS np. pliki ASCII, które następnie można wizualizować na mapach.

Właściwe wyznaczenie stref zagrożenia powodziowego podlega procesowi kontroli. Pozytywny wynik kontroli warunkuje rozpoczęcie następnego etapu prac.

Zakres kontroli:

- zasięg wygenerowanych stref zagrożenia;
- poprawność geometryczna i topologiczna powstałych warstw (ilość punktów poligonu oraz to czy jest on zamknięty);
- sposób wygładzenia poligonu.

## 11. Zasady kartowanie map zagrożenia powodziowego

Pod pojęciem kartowania map zagrożenia powodziowego rozumie się wizualizację wyznaczonych stref zagrożenia powodziowego oraz redakcję map, a także zapis do postaci cyfrowej i wydruk.

### 11.1. Wizualizacja map

Dane zawarte w bazie danych lub wyniki przetworzeń danych mogą być wyprowadzane w formie, która umożliwia odebranie ich przez użytkownika lub przez programy GIS jako dokumenty alfanumeryczne: tabele, statystyki lub też obrazy: wykresy, mapy lub modele trójwymiarowe. Wizualizacją nazywamy układanie wielkiej liczby elementów zawartych w bazie danych w jeden obraz. Poszczególne elementy posiadają różne atrybuty i znajdują się w różnych tabelach baz danych i dopiero dzięki wizualizacji można zobaczyć jeden zbiorczy obraz.

Wizualizacja umożliwia identyfikację obiektów oraz prawidłowości rządzących ich przestrzennym rozmieszczeniem. GIS umożliwia nie tylko powiązanie danych zawartych w bazach, ale również przedstawienie ich w formie map i wykresów. Ma to istotne znaczenie ze względu na złożoność zjawisk przestrzennych i ich zmienność czasową. Na wyświetlonym obrazie łatwo znaleźć poszukiwane obiekty, zrobić zapytanie czy dopisać nowe atrybuty.

Ze względu na czytelność wyświetlanej mapy czasem celowe jest ograniczenie wyświetlanej

treści do określonej kombinacji atrybutów lub ograniczenie zakresu obszarowego.

### **11.2. Redakcja map**

---

GIS umożliwia automatyzację produkcji map. Produkcja map nie wyczerpuje całego zakresu zastosowań GIS, ale jest jego istotnym elementem. Dzięki GIS możliwa jest automatyczna zmiana skali i odwzorowania mapy, co ma znaczenie w procesie redakcji mapy, ale równocześnie należy pamiętać, że skala mapy pojawiającej się na wyjściu powinna być dostosowana do mapy oraz danych w oparciu o które była tworzona. W przypadku niezgodności skal wyprowadzana mapa może zawierać zbyt mało lub zbyt dużo informacji. O tym jak komponuje się obraz na monitorze albo treść wydrukowanej mapy decydują następujące zmienne:

- lokalizacja,
- wartość,
- barwa,
- rozmiar,
- kształt,
- rozmieszczenie, układ przestrzenny,
- orientacja.

Od nich zależy nie tylko czytelność mapy, lecz również jej estetyka.

Mapę komponuje się z wielu poziomów. Ich liczba jest nieograniczona. Warstwy (poziomy) mapy stosuje się w celu uporządkowania informacji (baz danych).

Zasada jest taka, że najniżej znajdują się warstwy powierzchniowe, następnie liniowe, a na samej górze punktowe, tłem dla map są przeważnie podkłady rastrowe (topograficzne lub ostatnio coraz częściej ortofotomapy).

Głównymi elementami kompozycji mapy są:

- ramka danych przedstawiająca treść mapy,
- ramka danych lokalizująca treść mapy w odniesieniu do większego obszaru przedstawiana w mniejszej skali niż sama treść mapy,
- legenda,
- tytuł,
- skala,
- kierunek północy,
- siatka kartograficzna,
- siatka odwzorowania wraz z opisem,
- informacja o źródle danych i zleceniodawcy.

### **11.3. Kompozycja i parametry map wzorcowych**

---

Mapy zagrożenia powodziowego należy wykonywać w kroju arkuszowym właściwym mapie topograficznej w skali 1: 10 000, w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych „1992” oraz Europejskim Układzie Wysokości Kronsztad 86 zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych z dnia 8 sierpnia 2000 r. (Dz.U. z 2000 r. Nr 70, poz.821).

Podkładem dla opracowywanych map zagrożenia powodziowego mają być:

- Mapy Topograficzne w skali 1:10 000, jeżeli ich aktualność jest nie gorsza niż 6 lat (w przypadku terenów z dużym tempem zmian należy indywidualnie ocenić przydatność danego materiału).
- Wizualizacja kartograficzna Bazy Danych Obiektów Topograficznych w skali 1:10 000 jeżeli jej aktualność jest nie gorsza niż 6 lat (w przypadku terenów z dużym tempem zmian

należy indywidualnie ocenić przydatność danego materiału).

- Ortofotomapy.

Wersja cyfrowa map zagrożenia powodziowego winna zawierać wszystkie warstwy przestrzenne powstałe na etapie tworzenia map ryzyka w formie plików \*.shp definiujących geometryczny kształt i przestrzenną lokalizację obiektów oraz zawierających odpowiedni zestaw danych opisujących cechy tych obiektów, wyrażone w postaci atrybutów zdefiniowanych w pkt. 8.3 niniejszego opracowania. Wszystkie pliki \*.shp muszą zostać opatrzone metadanymi zgodnymi z normą PN-EN ISO 19115:2005.

Poza wersją cyfrową map zagrożenia powodziowego należy przygotować wersje analogowe w postaci plików PDF o rozmiarze arkusza A1 w podziale na arkusze (godła) odpowiadające arkuszom map w skali 1:10000. Mapy należy wykonać odrębnie dla każdego ze scenariuszy powodziowych.

Każdy arkusz mapy powinien zawierać następujące elementy:

- tytuł opracowania {czcionka Arial 20 Bold},
- opis rejonu {Arial 20} wraz z godłem mapy odpowiednim dla map w skali 1: 10 000 {Arial 20 Bold} zamieszczony pod tytułem opracowania,
- główną ramkę danych (skala 1:10 000) zawierającą treść mapy z niżej wymienionymi warstwami informacyjnymi:
  - zasięg strefy zagrożenia powodziowego (warstwa prezentująca zasięg zalewu dla określonego scenariusza powodziowego) – warstwa poligonowa,
  - głębokość wody w strefie zagrożenia powodziowego – warstwa rastrowa,
  - prędkości wody w strefie zagrożenia powodziowego – warstwa rastrowa (tylko dla obszarów objętych modelowaniem 2D),
  - kierunki przepływu wody / wektory prędkości – warstwa rastrowa lub wektorowa (tylko dla obszarów objętych modelowaniem 2D),
  - sieć rzeczna,
  - zbiorniki retencyjne,
  - pikietki określające wartość maksymalnej rzędnej wody wynikające z modelowania,
  - kilometraż rzeki z punktami co 500 m,
  - wały przeciwpowodziowe,
  - podział administracyjny w postaci granic gmin,
  - nazwy miejscowości {Arial 48 kursywa, RGB 52, 52, 52, maska „Halo” rozmiar 2}.
- siatkę kartograficzną odnoszącą się do głównej ramki danych w układzie mapy,
- siatkę metryczną odnoszącą się do głównej ramki danych w układzie mapy zawierającą:
  - podziałkę liniową wraz z opisem skali,
  - strzałkę północy,
  - legendę (odnoszącą się do głównej ramki danych),
  - ramkę danych (o rozmiarach 22 cm x 22 cm, w skali 1:70 000) nazwaną jako „układ arkuszy” z zaznaczonym zasięgiem głównej ramki danych, zawierającą następujące warstwy informacyjne:
    - podział arkuszowy map w skali 1:10 000 w układzie 1992 z etykietami godeł – Arial 10, kolor RGB 0,0,0,
    - podział administracyjny w postaci gmin z etykietami nazw gmin – Arial 15 Bold kursywa, kolor RGB 255, 127, 127;
- informacje o:
  - układach odniesienia,
  - wykonawcy opracowania i jego logo,
  - nazwie i logo zlecającego,
  - aktualności opracowań kartograficznych,
  - aktualności opracowań hydrograficznych,
  - numerze wydania i jego roku wraz z zastrzeżeniami dotyczącymi reprodukcji i wykorzystywania mapy.

Podziały głębokości i prędkości przyjęte w niniejszej metodyce są powszechnie stosowane na całym świecie.

W przypadku głębokości wody wybranie takich a nie innych przedziałów nie jest przypadkowe. Są to parametry opracowane ze względu na zagrożenie ludzi i potrzeby planów ewakuacyjnych. Takie kryteria w odniesieniu do map zagrożenia powodziowego są powszechnie używane w krajach Unii Europejskiej Holandii, Francji, Niemczech Szwajcarii.

- Przedział do 0.5 m ( $h \leq 0,5$  m) jest nazywany przedziałem niepewności z powodu niemożności precyzyjnego wyznaczenia zasięgu powodzi o takich parametrach, czego przyczyna może być np. niedokładność odwzorowania terenu (mapy topograficzne, NMT) dochodząca do błędu maksymalnego rzędu 0.5-1 m, dla materiałów, które mogą być dopuszczone do takich opracowań. Prezentowane w ten sposób są obszary o niskim zagrożeniu dla ludzi.
- Przedział od 0.5 do 2 m ( $0,5 \text{ m} < h \leq 2$  m) prezentuje obszary małego zagrożenia dla ludzi ze względu na możliwość ucieczki na wyższe piętra.
- Przedział 2 – 4 m ( $2 \text{ m} < h \leq 4$  m) prezentuje obszary podwyższonego zagrożenia dla ludzi w tym obszarze, zalaniu mogą podlegać nie tylko partery, ale również pierwsze piętra budynków.
- Przedział powyżej 4 m ( $h > 4$  m) prezentuje obszary wysokiego zagrożenia dla ludzi i wysokiego zagrożenia wystąpienia szkód całkowitych.

Natomiast w przypadku prędkości wody przyjęte przedziały wynikają z klasycznej klasyfikacji prędkości przepływu wody stosowanej w hydraulice koryt naturalnych i sztucznych, której celem jest określenie stopnia niszczycielskiej siły oddziaływania wody na obiekty. Klasyfikacja ta obejmuje następujące przedziały prędkości:

- $v \leq 0,5$  m/s – prędkość mała – woda ma niewielką zdolność oddziaływania na obiekty;
- $0,5 \text{ m/s} < v \leq 1$  m/s – prędkość średnia – woda ma umiarkowaną zdolność oddziaływania na obiekty i jest w stanie przemieszczać obiekty o niewielkich rozmiarach i masie, stanowi zagrożenie dla ludzi;
- $1 \text{ m/s} < v \leq 2$  m/s – prędkość duża – woda ma silną zdolność oddziaływania na obiekty i jest w stanie przemieszczać obiekty o stosunkowo dużych rozmiarach i masie, stanowi poważne zagrożenie dla ludzi;
- $v > 2.0$  m/s – bardzo duża prędkość – woda ma bardzo silną zdolność oddziaływania na obiekty i jest w stanie przemieszczać obiekty o bardzo dużych rozmiarach i masie oraz naruszać strukturę obiektów statycznych, stanowi bardzo poważne zagrożenie dla ludzi.

Wykonawca przy wykonywaniu map zagrożenia powodziowego będzie zobowiązany do uwzględniania wymagań, wytycznych Komisji Europejskiej odnośnie zakresu i formatu powyższych map (w tym wytycznych Europejskiego Systemu Informacji o Wodzie – WISE: Guidance Document No. 22 Upda-ted Guidance on Implementing the Geographical Information System (GIS) Elements of the EU Water policy Technical Report - 2009 – 028 i jego ewentualnych aktualizacji) oraz wykonaniu prac wymaganych formularzami raportowymi Komisji Europejskiej.

Poniżej przedstawiono, w formie tabelarycznej, parametry map odnoszące się do treści map opisanej powyżej, tabelę symboli warstw map i projekty map.

Właściwe kartowanie map zagrożenia powodziowego podlega procesowi kontroli.













Zakres kontroli:

- kompletność wykonanych warstw informacyjnych,
- czytelność wykonanej mapy,
- przygotowany układ kompozycji mapy.



Tab. 6 – Tabela symboli warstw map

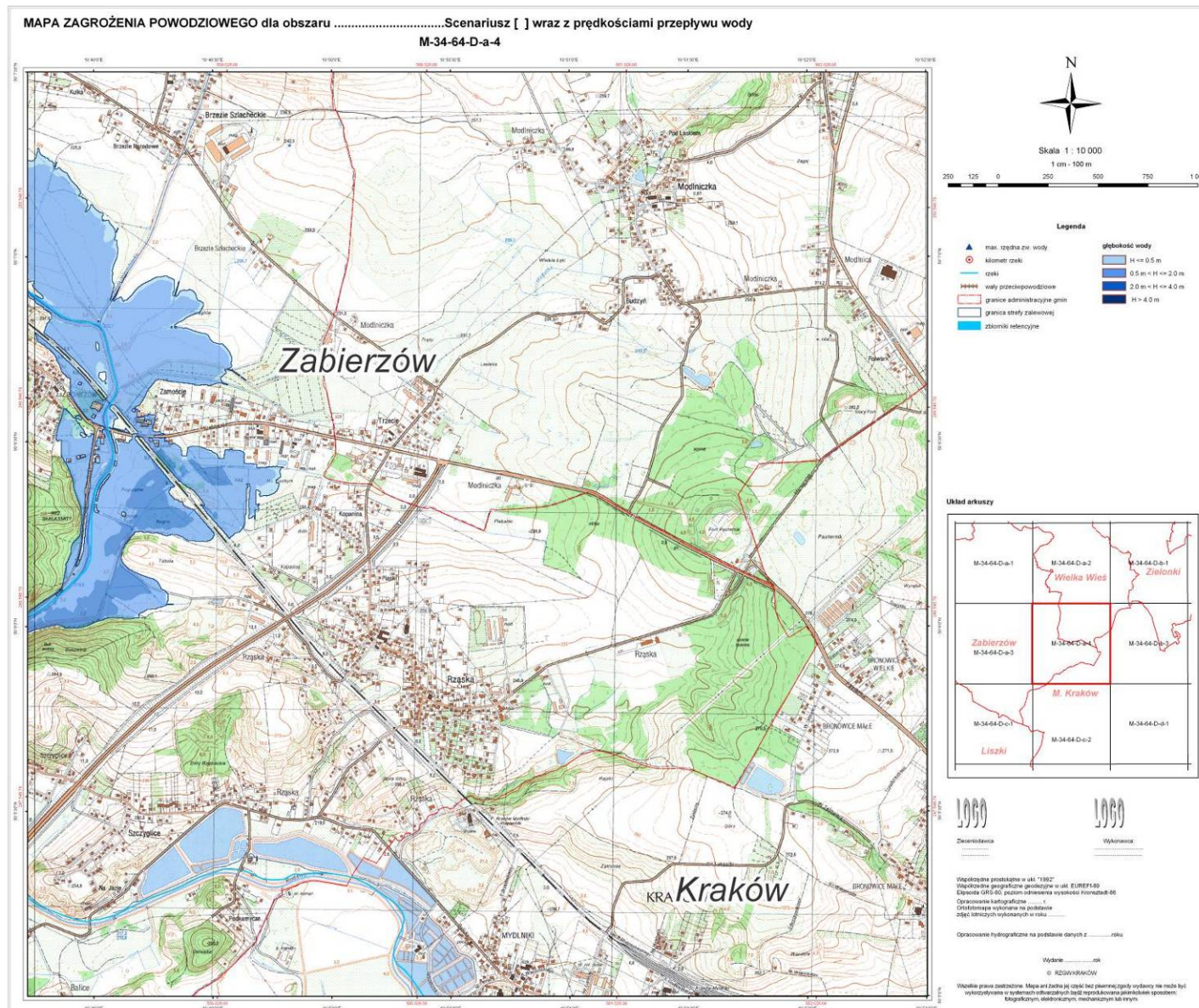
Symbolika dla wyżej wymienionych warstw winna przedstawiać się następująco:

Warstwa informacyjna		Symbol	Kolor RGB	Uwagi
nazwa warstwy	opis			
Strefa zagrożenia powodziowego [nazwa scenariusza]	strefa zagrożenia powodziowego – warstwa poligonowa		0,50,115	Szer.: 1,
Głębokości	głębokość wody w strefie zagrożenia powodziowego – warstwa rastrowa sklasyfikowana według kategorii: <ul style="list-style-type: none"> <li>o <math>h \leq 0,5\text{m}</math></li> <li>o <math>0,5 &lt; h \leq 2,0\text{m}</math></li> <li>o <math>2,0 &lt; h \leq 4,0\text{m}</math></li> <li>o <math>h &gt; 4,0\text{m}</math></li> </ul>	$h \leq 0,5\text{m}$	160,210,245	Przeźroczystość 40%
		$0,5 < h \leq 2,0\text{m}$	80,150,240	
		$2,0 < h \leq 4,0\text{m}$	0,90,200	
		$h > 4,0\text{m}$	0,50,115	
Prędkości	prędkości wody w strefie zagrożenia powodziowego – warstwa rastrowa sklasyfikowana według kategorii: <ul style="list-style-type: none"> <li>o <math>v \leq 0,5\text{m/s}</math></li> <li>o <math>0,5 &lt; v \leq 1,0\text{m/s}</math></li> <li>o <math>1,0 &lt; v \leq 2,0\text{m/s}</math></li> <li>o <math>v &gt; 2,0\text{m/s}</math></li> </ul>	$v \leq 0,5\text{ m/s}$	255,255,150	Przeźroczystość 40%
		$0,5 < v \leq 1,0\text{ m/s}$	255,205,60	
		$1,0 < v \leq 2,0\text{ m/s}$	255,85,0	
		$v > 2,0\text{ m/s}$	170,0,0	
Kierunki przepływu wody	kierunki przepływu wody / wektory prędkości - przeskalowane odpowiednio do wartości: <ul style="list-style-type: none"> <li>o <math>v \leq 0,5\text{m/s}</math></li> <li>o <math>0,5 &lt; v \leq 1,0\text{m/s}</math></li> <li>o <math>1,0 &lt; v \leq 2,0\text{m/s}</math></li> <li>o <math>v &gt; 2,0\text{m/s}</math></li> </ul>		0,0,0	Sygnatura stopniowana 6-20
			0,0,0	
			0,0,0	
			0,0,0	
Rzeki	sieć rzeczna		10,74,180	2
Maksymalna rzędna zwierciadła wody	rzędne zwierciadła wody wynikające z przeprowadzonego modelowania wraz z etykietami		10,74,180	15 pkt
Wały przeciwpowodziowe	wały przeciwpowodziowe		100,50,0	
Kilometraż rzek	Kilometraż rzek w postaci punktu co 500 m		255,0,0	16 pkt
Zbiorniki retencyjne	Zbiorniki retencyjne		0,197,255	
Granice gmin	granice administracyjne gmin wraz wyetykietowanymi nazwami		255,0,0	1
Podział arkuszowy map w skali 1:10 000 w układzie 1992	Siatka arkuszy w skali 1:10 000		0,0,0	1

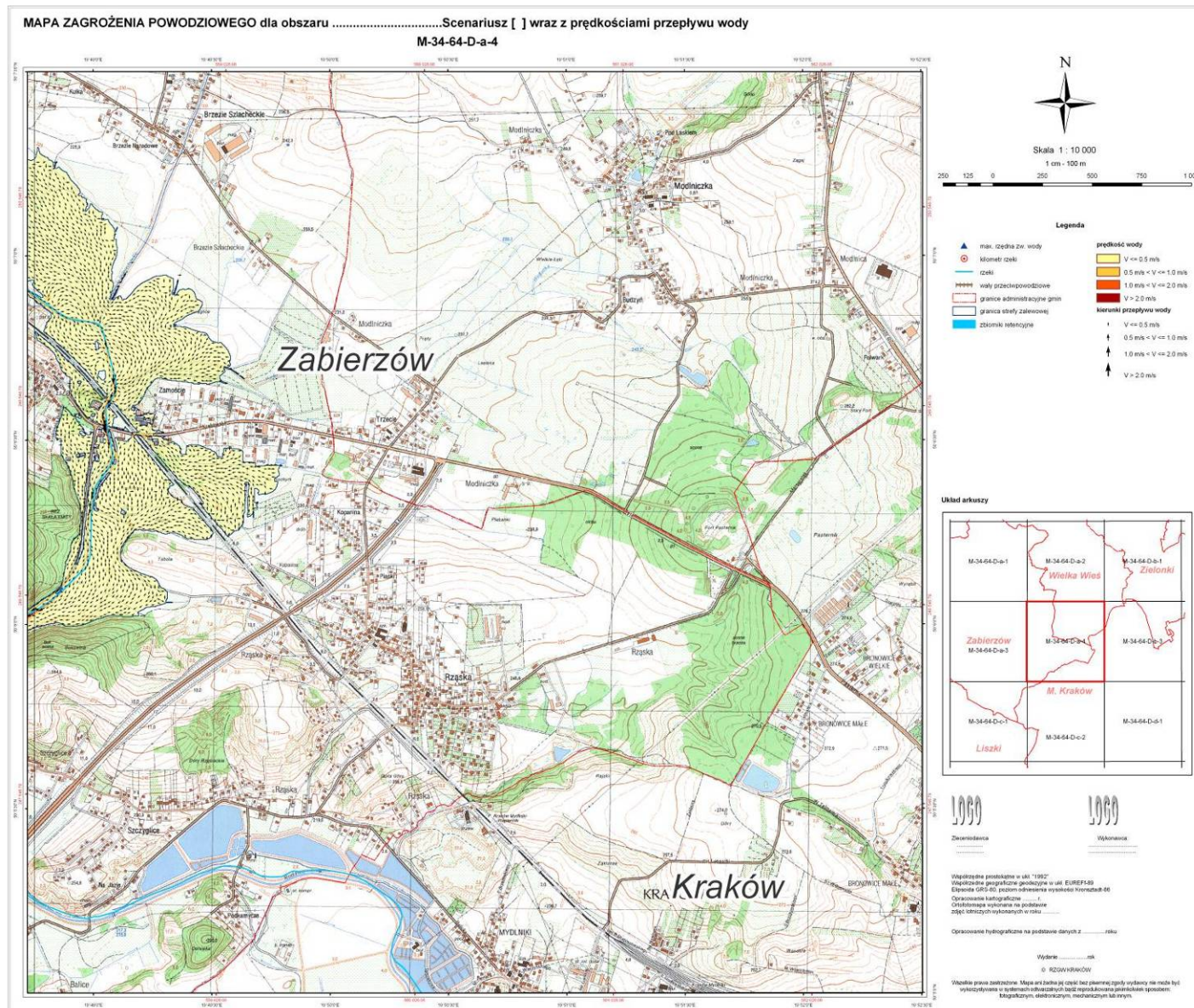
Tab. 7 – Parametry elementów treści mapy

L.p.	Parametr	Opis	Pozycja [mm] (od lewego dolnego rogu)	Skala/czcionka
1	Tytuł mapy /opracowania	w zależności od tekstu	x: 10.64; y:498	Arial 17.75
2	Godło (ramka tekstowa)	w zależności od tekstu	x:209.5; y:488.5	Arial 17.75
3	Główna ramka danych	Arkusze mają różne wymiary w zależności od strefy szerokości geograficznej, w przyjętym podziale międzynarodowym wynoszącą 3'45" długości geograficznej i 2'30" szerokości geograficznej. Ramka ma zawierać obramowanie o odstępie 6 pkt na X i Y; kolor RGB 0,0,0 ; rozmiar 0.5 pkt	x: 13.4; y:13.4	1:10 000
4	Siatka kartograficzna (głównej ramki danych)	osie ze znacznikiem podziału głównego na zewnątrz o wielkości 3 pkt kolor RGB 0,0,0 (prostopadle do ramki danych); etykiety zewnętrzne Arial 6 RGB 0,0,0 (Stopnie Minuty Sekundy) w odstępie 14 pkt od ramki; przedział co 30 sekund		
5	Siatka metryczna (głównej ramki danych)	osie ze znacznikiem na zewnątrz o wielkości 3 pkt kolor RGB 255,0,0 (prostopadle do ramki danych); etykiety zewnętrzne Arial 6 RGB 255,0,0 (z separatorem tysięcy dokładność do 2 miejsc po przecinku) w odstępie od ramki o 7 pkt; przedział co 1000 m		
6	Strzałka północy	rozmiar 138, nachylenie zależne od godła mapy	x: 520; y: 445	
7	Opis skali bezwzględny		x: 520; y: 435	Arial 12
8	Opis skali względny		x: 526; y: 428.6	Arial 9
9	Skala	wartość przedziału 250 m; liczba przedziałów podziału 5; liczba podziałów 4 (jeden przedział przed zerem); jednostki: metry; odstęp etykiet 5 pkt; częstotliwość etykietowania: działy i pierwszy punkt środkowy; format etykietowania z separatorem tysięcy,	x: 472; y: 418.5	Arial 9
10	Okno legendy		<u>pozycja od lewego górnego narożnika!</u> x: 479.5; y:401.3	Arial 10

11	Ramka danych "układ arkuszy"	Rozmiar dobrany tak aby uwzględnić sąsiednie arkusze arkusza głównego z ramką o odstępnie 6 pkt na X i Y; kolor RGB 0,0,0 ; rozmiar 0.5 pkt	x: 477.97; y: 126.61	1:115 000
12	Ramka (pole tekstowe) z informacją o układach odniesienia		x: 479; y: 64	Arial 8
13	Ramka (pole tekstowe) informująca o aktualności opracowań kartograficznych		x: 479; y: 53	Arial 8
14	Ramka (pole tekstowe) informująca o aktualności opracowań hydrograficznych		x: 479; y: 46	Arial 8
15	Ramka (pole tekstowe) informująca o numerze wydani i jego roku wraz z zastrzeżeniami dotyczącymi reprodukcji i wykorzystywania mapy		x: 479; y: 33.2	Arial 8
16	LOGO Zlecniodawcy	15 mm x 15 mm	x: 479; y: 113	
17	Ramka z informacją o Zlecniodawcy		x: 479; y: 93	Arial 8







## 12. Literatura

---

- [1] Instytut Morski w Gdańsku - "Strategia ochrony brzegów morskich" - Gdańsk - 2000 r.
- [2] Andrzej Cieślak, Urząd Morski w Gdyni - "Zagrożenie powodzią i erozją morską warunkach zmiany klimatu a podejmowanie decyzji w obszarze przybrzeżnym"
- [3] Cameron T. Ackerman, P.E. HEC-GeoRAS An extension for support of HEC-RAS using ArcGIS. U.S. Army Corps of Engineers, 2005.
- [4] C. J. Date, Relacyjne bazy danych dla praktyków. Helion, cop. 2006.
- [5] Dariusz Gotlib, Adam Iwaniak, Robert Olszewski, GIS: obszary zastosowań. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007.
- [6] DHI, Mike 11, MikeNAM, MikeGIS User Guide and Scientific Documentation. 2003.
- [7] DHI, Modeling the world of water. Software catalogue, 2009.
- [8] Edward Whalen, Oracle Database 10g. Helion, cop. 2007.
- [9] Elmasri R., Navathe S., Wprowadzenie do systemów baz danych, Wyd. Helion, (4th Edition), 2005
- [10] Garcia-Molina H., Ullman J.D., Widom J., Implementacja systemów baz danych, WNT, 2003.
- [11] Henrik G. Muller, Morten Rungoe, Integrating Floodplain management and numerical modelling, using ArcView Danish Hydraulic Institute. 1996.
- [12] Lynn E. Johnson, Geographic Information Systems in Water Resources Engineering. Taylor Francis Group 2009.
- [13] Mirosława Kopertowska, Witold Sikorski, Bazy danych: poziom zaawansowany. Wydawnictwo Naukowe PWN 2006.
- [14] Paul A. Longley, Geographic information system and science. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [15] R. Ramakrishnan, J. Gehrke, Database Management Systems, 2nd edition, WCB/McGraw-Hill, 2001.
- [16] Shamsi, U.M. GIS and Modeling Integration. CE News, Vol. 13, No. 6, July 2001, (2001).
- [17] Spojrzenie w przyszłość: porównanie SQL Server 2008 z Oracle Database 11g. Microsoft. 2008.
- [18] Włodzimierz Khadzhynov, Piotr Ratuszniak, Bazy danych. Wydawnictwo Naukowe Politechniki Koszalińskiej, 2005.
- [19] E.Zeman, J. Spatka, V. Rara, M.B. Butts, J. Sirotek – „Flood Directive in Romanian River Basins – Application of integrated modelling tools using advanced topographical technology in the Jiu River Basin” – b.d. – b.d.
- [20] E. Fontenot, D. Kerper, M. Butts, A. Taylor – “Achieving stakeholder credibility – A flood modelling case study” – b.d. – b.d.
- [21] M.B. Butts, E. Fontenot, M. Cavalli, C. Y. Pin, T.S. Jensen, T. Clausen, A. Taylor – “Development and evaluation of an integrated hydrological modelling tool for the Water Framework Directive and Floods Directive” - International Conference FLOODrisk 2008, Oxford, United Kingdom, 30 September – 2 October 2008
- [22] Georgina Corestein, Ernest Bladé, Manuel Gómez, Josep Dolz, Eugenio Oñate, Javier Piazese, - “1d Cross Sections From A 2d Mesh, A Feature For A Hydraulic Simulation Tool” - Barcelona, Spain - 2006
- [23] B. Lin, J. M. Wicks, R. A. Falconer, K. Adams – “Integrating 1D and 2D hydrodynamic models for flood simulation” – b.d. – 2006
- [24] M.G.F. Werner – “A comparison of flood extent modeling approaches through constraining uncertainties on gauge data” – Delft, The Netherlands - 2004
- [25] “Flo-2D Users Manual, Version 2007.06” - Nutrioso, Arizona, USA – 2007
- [26] “Mike 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, User Guide” – Hørsholm, Denmark – 2007
- [27] “Mike 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation” – Hørsholm, Denmark – 2007
- [28] “Mike Flood, 1D-2D Modelling, User Manual” - Hørsholm, Denmark – 2007