

inżynieria środowiska

Ocena i przeciwdziałanie
zagrożeniu powodziowemu

Izabela Godyń
Andrzej Mączyłowski
Elżbieta Nachlik



Kraków 2021

inżynieria środowiska

**Ocena i przeciwdziałanie
zagrożeniu powodziowemu**

Izabela Godyń
Andrzej Mączałowski
Elżbieta Nachlik

Kraków 2021

PRZEWODNICZĄCY KOLEGIUM REDAKCYJNEGO WYDAWNICTWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tomasz Kapecki

PRZEWODNICZĄCA KOLEGIUM REDAKCYJNEGO WYDAWNICTW DYDAKTYCZNYCH

Agata Zachariasz

REDAKTOR SERII - ŚRODOWISKO

Magdalena Jaremkiewicz

RECENZENCI

Tomasz Walczykiewicz

Janusz Zaleski

KOORDYNATORZY PROJEKTU

Otmar Vogt

Małgorzata Kowalczyk

REDAKTOR WYDAWNICZY

Agnieszka Filosek

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Michał Stachowski

SKŁAD I ŁAMANIE

Małgorzata Murat-Drożyńska

PROJEKT OKŁADKI

Karolina Szafran

Tekst został opublikowany w ramach projektu „Programowanie doskonałości – PK XXI 2.0. Program rozwoju Politechniki Krakowskiej na lata 2018-2022”.

Dofinansowanie z Europejskiego Funduszu Społecznego: 18,048,774.96 PLN

© Copyright by Politechnika Krakowska

© Copyright by Izabela Godyń, Andrzej Mączałowski, Elżbieta Nachlik



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Edycja online

eISBN 978-83-66531-76-5

10 ark. wyd.

Wydawnictwo PK, ul. Skarżyńskiego 1, 31-866 Kraków; 12 628 37 25, fax 12 628 37 60

wydawnictwo@pk.edu.pl

www.wydawnictwo.pk.edu.pl

Adres korespondencyjny: ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	5
1. Powódź – jej uwarunkowania i skutki	7
1.1. Powódź – definicja i rodzaje.....	7
1.2. Czynniki wpływające na wzrost zagrożenia powodziowego.....	13
1.3. Przykład Krakowa.....	34
1.4. Skutki powodzi.....	43
2. Ochrona przed powodzią i ograniczenie zagrożenia powodziowego	49
2.1. Środki ochrony przeciwpowodziowej	50
2.2. Alternatywne strategie ochrony przed powodzią	71
2.3. Koncepcja zarządzania ryzykiem powodziowym	74
3. Ocena zagrożenia i ryzyka powodziowego	79
3.1. Podstawowe założenia i regulacje prawne.....	79
3.2. Wstępna ocena ryzyka powodziowego (WORP)	84
3.3. Ocena zagrożenia powodziowego	91
3.4. Ocena ryzyka powodziowego	109
4. Zarządzanie ryzykiem powodziowym.....	123
4.1. Podstawowe informacje	123
4.2. Plany zarządzania ryzykiem powodziowym	125
4.3. Plany adaptacji miast do zmian klimatu.....	156
4.4. Powiązanie zarządzania ryzykiem powodziowym z gospodarką przestrzenną	172
Literatura	187
Definicje podstawowych terminów i stosowanych akronimów	192
Aneks.....	198
A.1. Charakterystyka rzek i przepływu rzecznoego	198
A.2. Przepływ rzeczny w warunkach normalnych oraz w okresach wezbrań	207
A.3. Parametryzacja przepływu rzecznoego na potrzeby oceny zasięgu zagrożenia powodziowego	212
A.4. Wpływ zabudowy hydrotechnicznej i mostowej na dynamikę i elewację wód wezbraniowych	221

WPROWADZENIE

Podręcznik został opracowany dla studentów kierunku **gospodarka przestrzenna**. Jednocześnie praca ma charakter pomocniczy w przedmiotach obejmujących zagrożenie i ochronę przed powodzią na innych kierunkach związanych z gospodarką i inżynierią wodną oraz budownictwem i transportem wodnym.

Podręcznik obejmuje łącznie cztery rozdziały merytoryczne, które dostosowano do aktualnego podejścia do omawianego zagadnienia i jego uregulowań europejskich obowiązujących w naszym kraju. Rozdziały te obejmują:

- podstawowe informacje dotyczące powodzi, zwłaszcza jej definicję, rodzaje powodzi w kontekście ich źródeł i mechanizmów rozwoju, uwarunkowania historyczne i obecne czynniki wpływające na wzrost zagrożenia powodziowego, a także charakterystykę jego skutków; zwrócono też uwagę na presje naturalne i antropogeniczne (w tym zmiany klimatyczne), które mają istotny wpływ na wzrost zagrożenia powodziowego (rozdz. 1);
- prezentację podejścia do ochrony przed powodzią oraz ograniczania zagrożenia powodziowego; obok usystematyzowania obecnego podejścia do tych zagadnień, omówiono zasady i stosowane środki ochrony w ujęciu historycznym, co ma znaczenie dla rozumienia istoty zmiany podejścia, także w kontekście roli planowania przestrzennego dla kontroli zmian w użytkowaniu terenu (rozdz. 2);
- ocenę zagrożenia i ryzyka powodziowego, zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi i dobrą praktyką w tym zakresie (rozdz. 3);
- planowanie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym, zarówno w obszarze gospodarki wodnej, jak i gospodarki przestrzennej, oraz ich wzajemnego powiązania; wykorzystano obowiązujące regulacje prawne, podstawy ekonomiczne, metodyki postępowania i obowiązujący zakres rozwiązań (rozdz. 4).

W celu lepszego rozumienia treści w rozdziałach tych odniesiono się do praktycznych przykładów z obszaru dorzecza Górnej Wisły, a przede wszystkim aglomeracji krakowskiej. Autorzy podręcznika wykorzystali w tym zakresie własne doświadczenia projektowe i planistyczne, oparte na realizacji projektów metodycznych i koncepcyjnych, zarówno krajowych, jak i międzynarodowych, tematycznie powiązanych z przedmiotem niniejszego podręcznika.

Dodatkowo, w ramach aneksu **Podstawowy hydrauliki rzecznej** zawarto podstawowe informacje z zakresu charakterystyk przepływu rzecznej, istotne z punktu

widzenia oceny zagrożenia powodziowego od strony rzeki. Jest to ważne dla rozumienia i umiejętności posługiwania się mapami zagrożenia powodziowego i ryzyka powodziowego w planowaniu przestrzennym.

Praca zawiera także opisowy słownik podstawowych pojęć i skrótów zastosowanych w podręczniku, co ułatwi poszukiwanie definicji niektórych użytych terminów.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na problem aktualności prezentowanego w książce podejścia, a także przywoływanych dokumentów i przytaczanych w tekście wyciągów z nich, ponieważ:

- od stycznia 2018 r. obowiązuje nowe Prawo wodne, wprowadzone ustawą z dnia 20 lipca 2017 r. (Dz.U. 2017, poz. 1566 z późn. zm.), która ciągle podlega modyfikacji w części zapisów, a także wprowadza nowe rozporządzenia dotyczące szczegółowych kwestii;
- system planistyczny Unii Europejskiej, a tym samym krajowy, w zakresie planów zarządzania ryzykiem powodziowym (PZRP), a także planów gospodarowania wodami (PGW), oparty jest na cyklu sześcioletnim; przywoływane w podręczniku ustalenia dotyczą obecnie obowiązujących planów, których ważność upływa z końcem 2022 r.; system planistyczny zakłada bowiem rozwój metodyki aplikacyjnej tych dokumentów, zwłaszcza w odniesieniu do zakresu i efektywności analiz i ocen, na bazie wzrostu poziomu ich szczegółowości; od dłuższego czasu trwają prace nad nowymi dokumentami, jednak do czasu ich oficjalnej akceptacji nie można było ich wykorzystać w tej edycji podręcznika;
- w polskim prawodawstwie dokonywane są systematyczne zmiany w odniesieniu do rodzajów i zakresu dokumentów strategicznych, które mają również wpływ na kształtowanie polityki przeciwpowodziowej oraz podejście do rozwiązań i infrastruktury ograniczających zagrożenie.

W tej sytuacji należy korzystać z niniejszego podręcznika ze świadomością miejsca i czasu jego opracowania i wydania. Może się bowiem zdarzyć, że – pomimo starań autorów – niektóre z zawartych w nim informacji mogą z upływem czasu przestać być aktualne.

1. POWÓDŹ – JEJ UWARUNKOWANIA I SKUTKI

Ten rozdział poświęcono charakterystyce powodzi, z uwzględnieniem kontekstu historycznego, a zwłaszcza:

- definicji powodzi i rodzajów tego zagrożenia,
- przyczyn występowania powodzi,
- skutków zagrożenia.

Obowiązujące definicje i regulacje prawne, dotyczące powodzi, oceny zagrożenia i przeciwdziałania jej skutkom, zmieniały się w dalszej oraz bliższej przeszłości. Obecnie, od 2007 r., od czasu wejścia w życie Dyrektywy 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, zwanej w skrócie Dyrektywą Powodziową (DP) [20], w Polsce obowiązuje podejście i nomenklatura wspólna dla Unii Europejskiej.

Dokonano wyboru takiego zakresu materiału, który jest istotny z punktu widzenia użytkowania terenu i planowania przestrzennego oraz dokumentów z nimi związanych. Niemniej jednak pewien zakres zagadnień musiał zostać poszerzony, aby lepiej zrozumieć istotę rzeczy.

1.1. POWÓDŹ – DEFINICJA I RODZAJE

Powódź występuje wtedy, gdy na drodze wody staje człowiek i jego majątek. Najczęściej traktowana jest jako zagrożenie naturalne, wywołane wezbraniem rzeczonym, którego źródłem są wysokie i długotrwałe opady deszczu. W naszym kraju stanowią one istotnie podstawowe źródło zagrożenia powodziowego. Jednak i na naszych terenach występują powodzie wywołane sztormami morskimi (wybrzeże Morza Bałtyckiego), roztopami śniegu w okresach wiosennych, a także zatorami lodowymi w okresach zimowych lub osuwiskami w terenach górskich w okresach intensywnych opadów i związanych z nimi spływów stokowych.

W ostatnich kilkudziesięciu latach, zwłaszcza na obszarach poddanych silnej presji urbanizacyjnej, pojawiły się również bardziej złożone przypadki powodzi, charakterystyczne dla obszarów miejskich. Źródła tych powodzi łączą kilka przyczyn wystąpienia zagrożenia powodziowego, które występują jednocześnie i są związane zarówno z naturalnymi opadami i wezbraniem, jak i ze złożonym technicznym systemem odprowadzania

wód z obszaru miasta. Ten system techniczny obejmuje drenaż powierzchniowy (rzeeki, potoki, kanały), system kanalizacyjny odprowadzania nadmiaru wód opadowych oraz obiekty i urządzenia łączące te systemy miejskie z głównymi odbiornikami rzecznyymi spływu wód z obszaru miasta. Dlatego też posłużymy się obecnie obowiązującą prawną definicją powodzi, a jej rodzaje (typy) rozwinieemy w ujęciu historycznym.

DEFINICJA POWODZI

Zgodnie z art. 16, pkt 43 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne [65], powódź definiowana jest jako **„czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, w szczególności wywołane przez wezbrania wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza, z wyłączeniem pokrycia przez wodę terenu wywołanego przez wezbranie wody w systemach kanalizacyjnych”**.

Ta definicja korzysta z możliwości nieuwzględnienia powodzi wywołanej miejskim systemem kanalizacyjnym, np. na skutek ograniczenia jego przepustowości w okresie nadzwyczajnie wysokich opadów, co zostało określone w Dyrektywie Powodziowej [20]. Tym samym w transpozycji jej wymagań do polskiego prawodawstwa właśnie taką definicję uwzględniono. To oznacza, że definicja ta nie wyklucza powodzi, której bezpośrednim źródłem jest opad w obszarze miejskim (zgodnie z zapisem: „... czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą...”), jednak nie odnosi się do zagrożenia wywołanego samym systemem kanalizacyjnym. Jest to pewien problem, ponieważ nie zawsze można rozdzielić system kanalizacyjny od rzecznyego, zwłaszcza w sytuacji, gdy system kanalizacyjny nie jest w stanie w określonym czasie „odebrać” spływu wód opadowych, które są odprowadzane do systemu rzecznyego. To trudne zagadnienie, które zostanie zilustrowane na przykładzie Krakowa. Niemniej jako podstawowe zagrożenie powodziowe traktujemy zagrożenie ze strony rzeki, kanału, zbiornika wodnyego i morza.

Pamiętajmy także, że powódź wiąże się z zagrożeniem życia i zdrowia człowieka oraz ze szkodami i stratami powodziowymi zarówno w wymiarze ekonomicznym (finansowym) i rzeczowym, jak i w wymiarze kulturowym, zabytkowym, społecznym i środowiskowym. Oznacza to, że na przykład wezbranie rzeczne jako takie nie jest powodzią, natomiast staje się wezbraniem powodziowym, jeśli towarzyszą mu szkody i straty powodziowe.

RODZAJE POWODZI

Historycznie definiowane były na ogół trzy podstawowe rodzaje powodzi, w zależności od bezpośredniego źródła ich pochodzenia. Są to kolejno:

- **powódź rzeczna** – powódź wywołana wezbraniem wód rzecznych, strumieni, potoków górskich, kanałów i jezior, spowodowana spływem opadów deszczu lub

spływem topniejącego śniegu; na ilustracjach 1.1 i 1.2 pokazano przykłady takiej powodzi bez i z przerwaniem wału przeciwpowodziowego;

- **powódź od strony morza** (sztormowa) – powódź związana z zalaniem terenu przez wody morskie, w tym ujściowe odcinki rzek i jeziora przybrzeżne, na skutek sztormów (zob. il. 1.3);
- **powódź opadowa** – powódź związana z zalaniem terenu wodami pochodzącymi bezpośrednio z opadów deszczu lub topnienia śniegu; jak podaje oficjalny portal rządowy (<http://powodz.gov.pl/powodz/>), ten rodzaj powodzi może obejmować miejskie powodzie burzowe lub nadmiar wody na obszarach pozamiejskich, jak to pokazano na ilustracji 1.4; do tego przypadku odnosi się również komentarz zamieszczony powyżej w części dotyczącej definicji powodzi.

W tym miejscu należy również podkreślić, że podstawowym źródłem powodzi rzecznych w naszym kraju są opady atmosferyczne, najczęściej deszcze letnie, co pokazano na ilustracji 1.6, natomiast przyczyną powodzi od strony morza są sztormy morskie, powodujące wdzieranie się wód morskich w głąb lądu, najczęściej przez rzeki wpływające do morza.

Jak już wspomniano, ostatnie kilkadziesiąt lat, związanych z intensywnym rozwojem oraz brakiem możliwości skutecznego zabezpieczenia przed naturalnymi zagrożeniami wodą, spowodowało, że do źródeł zagrożenia powodziowego należy dołączyć następujące typy powodzi/zagrożenia:

- **powódź miejską** – powódź, która występuje w mieście, gdy system odwadniający nie absorbuje wody z ulewnego deszczu; ten system odwadniający składa się z kanalizacji opadowej (i ogólnospławnej) oraz systemu rzeczno, który „odbiera” wody z kanalizacji miejskiej; system rzeczny jest dodatkowo zabudowany obiektami mostowymi, przepustami i przelewami burzowymi, odprowadzającymi nadmiar wód opadowych z kanalizacji; jest to zatem sytuacja złożona, która może wystąpić w następujących przypadkach: 1) na skutek gwałtownych opadów lokalnych na terenie miasta, 2) na skutek połączonych opadów lokalnych z frontowymi, które powodują jednocześnie wezbranie rzeczne, 3) na skutek wezbrania rzeczno, wywołanego opadami w innej części dorzecza, i opadów na terenie miasta, ale w warunkach, gdy wody opadowe miejskie nie mogą być odprowadzone do rzeki; jak widać, ten typ powodzi zawsze wiąże się z opadami (zob. il. 1.4), ale łączy system rzeczny z systemem kanalizacyjnym;
- **powódź gwałtowną**, zwaną *flash flood* – powódź wywołana szybko płynącą wodą (spływem po stoku, ulicy, jezdni), która „zamiata” wszystko na swojej drodze; powodują ją ulewne deszcze lub gwałtowna odwilż; powodzie takie zwykle pokrywają stosunkowo niewielki obszar o dużym nachyleniu terenu i występują z niewielkim (zwykle krótszym niż sześć godzin) lub żadnym wyprzedzeniem; gwałtowne strumienie wody mogą przenosić duże obiekty, takie jak samochody, skały i drzewa; w Polsce jest to rzadkie zjawisko, z wyjątkiem obszarów górskich, gdzie gwałtowne opady wywołują osuwiska w terenach zabudowanych;

- **podtopienie od wód gruntowych** – powódź związana z zalaniem terenu na skutek podniesienia się poziomu wód powyżej poziomu gruntu; może obejmować podniesienie się wód gruntowych i podziemnych, wynikające z wysokiego poziomu wód powierzchniowych (zob. il. 1.5).



II. 1.1. Powódź rzeczna w warunkach naturalnego wezbrania.

Źródło: <http://powodz.gov.pl/powodz/> (dostęp: 21.05.2020)



II. 1.2. Powódź rzeczna w warunkach przerwania wału przeciwpowodziowego.

Źródło: <http://powodz.gov.pl/powodz/> (dostęp: 21.05.2020)



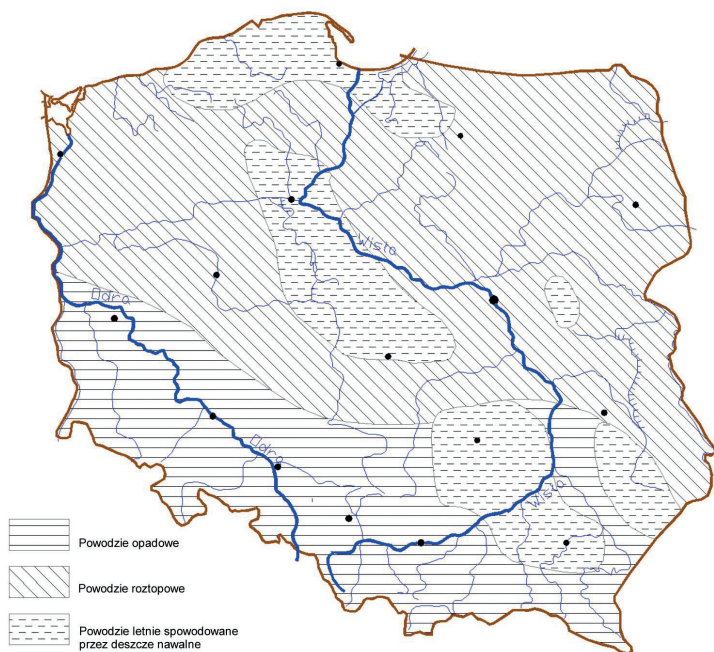
II. 1.3. Powódź od strony morza. Źródło: <http://powodz.gov.pl/powodz/> (dostęp: 21.05.2020)



II. 1.4. Powódź opadowa. Źródło: <http://powodz.gov.pl/powodz/> (dostęp: 21.05.2020)



II. 1.5. Powódź od strony wód gruntowych. Źródło: <http://powodz.gov.pl> (dostęp: 21.05.2020)



II. 1.6. Zasięg występowania w Polsce powodzi wiosenno-letnich. Oprac. na podstawie IMGW-PIB

Te trzy ostatnie rodzaje powodzi pojawiły się w ostatnich latach, przede wszystkim na skutek szybkiego rozwoju urbanizacji, w warunkach nieprzestrzegania ograniczeń związanych z konieczną kontrolą odprowadzania wód opadowych.

Obok klasyfikacji powodzi związanych z bezpośrednim źródłem zagrożenia, wyróżnia się klasyfikację zagrożenia według mechanizmu jego powstawania. Należy tu wymienić trzy takie główne mechanizmy [26]:

- **przekroczenie możliwości ochronnych:** zalanie terenu na skutek wystąpienia wód powodziowych o parametrach, które przekraczają parametry projektowe przyjęte dla obiektów ochrony (np. na skutek niewystarczającej wysokości obwałowania, jak na il. 1.2, niewystarczającej pojemności polderu powodziowego itp.);
- **awaria infrastruktury hydrotechnicznej:** zalanie terenu z powodu awarii naturalnych lub sztucznych zabezpieczeń przed powodzią lub infrastruktury wodnej; ten mechanizm zalania może obejmować uszkodzenie lub zawalenie konstrukcji przeciwpowodziowej lub retencyjnej, bądź też awarię w działaniu urządzeń pompujących lub bramy przeciwpowodziowej;
- **zablokowanie/ograniczenie przepustowości systemu odprowadzającego wody:** powódź na skutek naturalnej lub sztucznej blokady bądź ograniczonej przepustowości kanału lub systemu transportu; ten mechanizm zalania może obejmować blokadę systemów kanalizacyjnych lub powstałą z powodu ograniczonej przepustowości kanałów, mostów lub przepustów, bądź spowodowaną zatorami lodowymi czy też osuwiskami.

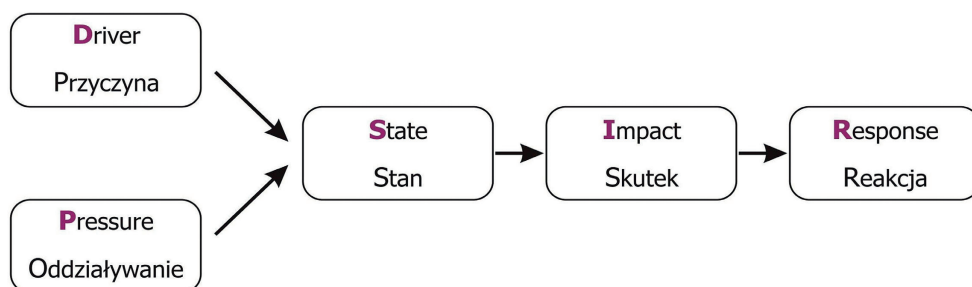
1.2. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA WZROST ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Na bazie analizy przyczynowo-skutkowej DPSIR (ang. *Driver-Pressure-State-Impact-Response*), pokazanej schematycznie na ilustracji 1.7, przedstawia się ciąg zdarzeń sprawczych, stanu i skutków zagrożenia powodziowego oraz działań w celu jego ograniczenia. Analiza ta uwzględnia:

- **Driver** – naturalne przyczyny wezbrań/powodzi,
- **Pressure** – oddziaływania o charakterze naturalnym i presje o charakterze antropogenicznym determinujące wezbrania/powodzie,
- **State** – stan zjawiska/procesu wezbrań/powodzi,
- **Impact** – skutek (oddziaływanie) wezbrań/powodzi,
- **Respons** – reakcja (odpowiedź) na zagrożenie, czyli środki mające za zadanie ograniczyć rozmiar skutków powodzi.

Czynniki wpływające na stan zjawiska/procesu, czyli na przykład na wielkość spływu wód opadowych i wezbrania rzeczne oraz na jego skutek, czyli wielkość i wzrost zagrożenia powodziowego, możemy podzielić na dwie grupy:

- 1) **naturalne przyczyny wezbrań/powodzi – czynniki sprawcze (Driver)**, do których należą opady oraz charakterystyka zlewni, na której te opady występują; pod pojęciem zlewni rozumiemy obszar częściowy dorzecza, z którego opad jest transformowany w odpływ do odbiornika rzecznej (a także kanalizacji opadowej);
 - 2) **oddziaływania (presje) na czynniki sprawcze (Pressure)**; do czynników sprawczych należą: zmiany klimatyczne (określane jako naturalne i cywilizacyjne), zmiany w użytkowaniu terenu i jego zabudowa, samoczynne uszczelnianie się terenu i inne, mające wpływ na charakterystyki opadowe i parametry odpływu ze zlewni.
- Przejdźmy do omówienia wpływu obu tych grup czynników (naturalnych przyczyn oraz oddziaływań/presji) i ich wpływu na wzrost zagrożenia powodziowego.



II. 1.7. Schemat analizy przyczynowo-skutkowej DPSIR w odniesieniu do zagrożenia powodziowego, jego skutków i działań ograniczających

1.2.1. NATURALNE PRZYCZYNY POWODZI – CZYNNIKI SPRAWCZE

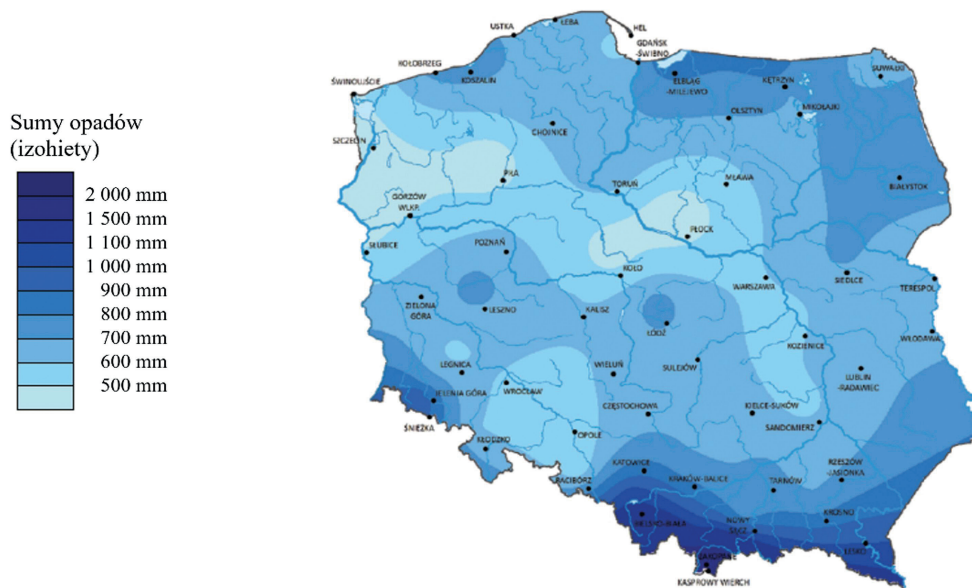
Naturalne przyczyny powodzi związane są z czynnikami klimatycznymi i z cechami charakterystycznymi zlewni, które kształtują spływ wód opadowych (ich odpływ) i wezbranie.

CZYNNIKI KLIMATYCZNE

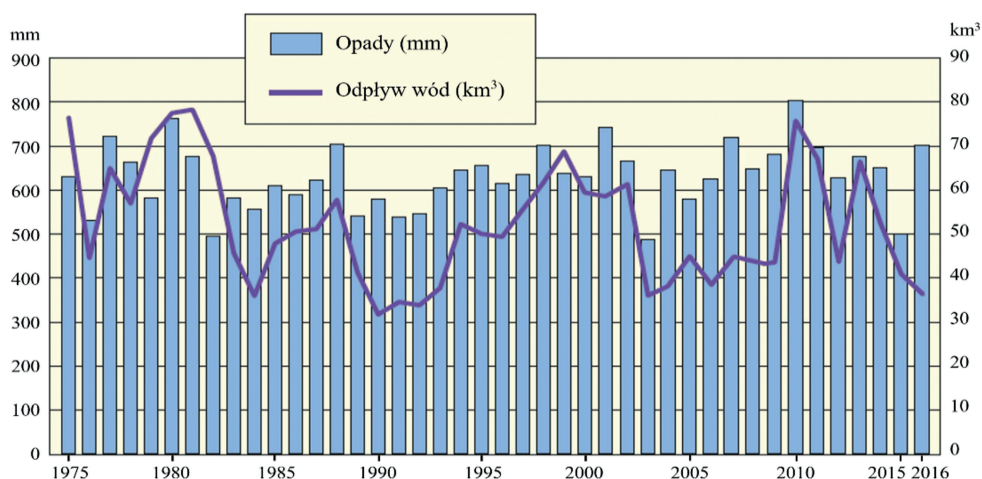
Jak pokazuje ilustracja 1.6, podstawowymi czynnikami klimatycznymi powodzi w Polsce są opady letnie i zimowe. Największe powodzie w naszym kraju wywołują opady letnie, które występują w okresie od maja do września.

Na ilustracji 1.8 przedstawiono typowy rozkład sumy opadów rocznych (liczona w milimetrach suma opadu w ciągu roku) z 2016 r. [46], natomiast na ilustracji 1.9 czasową strukturę opadu rocznego na obszarze Polski i jego odpływu z terytorium kraju [46]. Jak widać, suma opadów rocznych zmienia się nawet o 30% w różnych latach, podobnie jak wartość odpływu. Na ilustracji 1.9 widoczny jest w 2010 r. wyraźnie wyższy zarówno opad, jak i odpływ. Był to czas ostatniej wielkiej powodzi.

Największe wartości opadów występują w naszym kraju na południu, w obszarach górskich, gdzie ich wartość znacznie przekracza średnią (ok. 600-650 mm), sięgając często wartości powyżej 1000 mm (do 2000 mm) [11]. W tabeli 1.1 pokazano przykładowe wartości maksymalne i minimalne opadów rocznych w górnym dorzeczu Odry [29].



II. 1.8. Przestrzenny rozkład sumy opadów w Polsce w 2016 r. Źródło: [46]



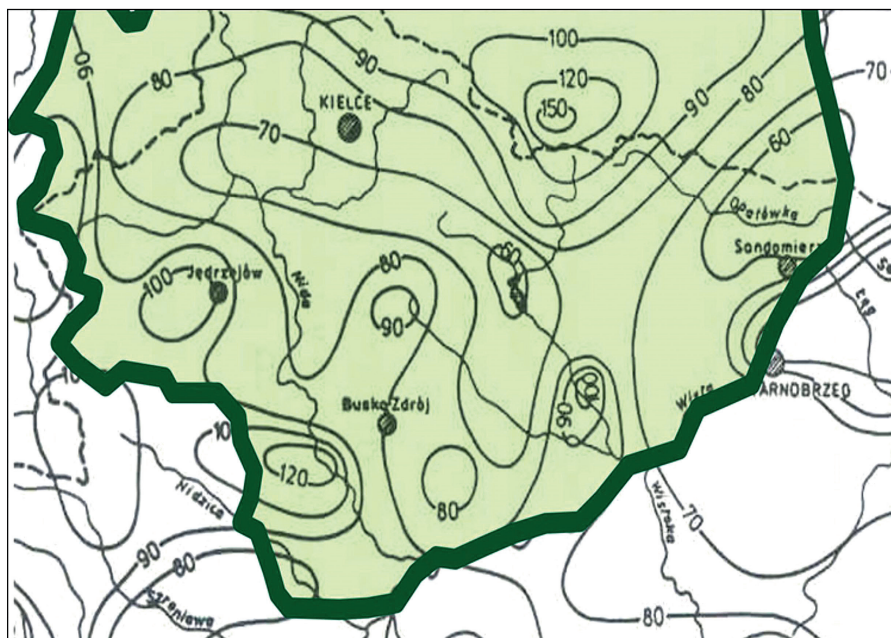
II. 1.9. Opady i odpływy roczne w Polsce w okresie 1975-2016. Źródło: [46]

Tabela 1.1

Ekstremalne wartości opadów w górskiej części dorzecza Odry

Dopływ Odry (lewostronny L lub prawostronny P)	Powierzchnia zlewni [km ²]	Źródło zasilania	Wzniesienie źródłiska [m n.p.m.]	Opad roczny [mm]	
				max.	min.
Olza (P)	1118	Beskid	850	1312	938
Osobłoga (L)	993	Sudety	700	825	699
Nysa Kłodzka (L)	4566	Sudety	975	1225	656
Bystrzyca (L)	1768	Sudety	690	878	603
Bóbr (L)	5876	Sudety	1190	1380	686

Niezależnie od sumy rocznej i lokalizacji, na obszarze kraju opady nie są rozłożone równomiernie w ciągu roku, a ich rozkład sezonowy jest typowy dla danego regionu. W okresach zagrożenia powodziowego występuje koncentracja najwyższych sum dobowych opadów, sięgająca kilkudziesięciu i ponad 100 mm w ciągu doby, co pokazano na ilustracji 1.10 na przykładzie województwa świętokrzyskiego [10]. W tym przypadku najwyższe opady wystąpiły w Górach Świętokrzyskich (150 mm), a także w rejonie Pińczowa (120 mm) i Jędrzejowa (100 mm).



Il. 1.10. Najwyższe zanotowane maksymalne opady dobowe w latach 1951-1980 w województwie świętokrzyskim. Źródło: [10]

W okresach największych powodzi występujące wezbrania opadowe w rzekach, wywoływane przez opady deszczu, mogą istotnie różnić się przebiegiem i zasięgiem terytorialnym. Są to wezbrania:

- wywołane przez nawalne opady, związane z lokalnymi burzami termicznymi, które występują na potokach górskich i strugach nizinnych, o powierzchni zlewni nie przekraczającej zwykle 50 km²; pojawiają się one zazwyczaj w lipcu i sierpniu (choć mogą występować w okresie od kwietnia do października), najczęściej na terenach wysoczyzn, wznoszących się nad płaskimi i podmokłymi obszarami; mają one krótkotrwały, ale gwałtowny przebieg;
- wywołane przez opady rozlewne, które występują na terenach górskich, podgórskich i na nizinach w okresie od czerwca (czasem już w maju) do września i charakteryzują się największym zasięgiem terytorialnym, obejmując nieraz całe dorzecze górnej Wisły lub Odry; podobnie scharakteryzować można wezbrania wynikające z opadów frontalnych, występujących w strefie frontów atmosferycznych.

Mechanizm wezbrań i spływów powodziowych w rzekach, potokach i na stokach odnosi się do trzech charakterystyk opadów: intensywności, czasu trwania i przestrzennego rozkładu opadu.

Wymienione wyżej typy opadów wywołują odmienne mechanizmy powstawania powodzi. I tak:

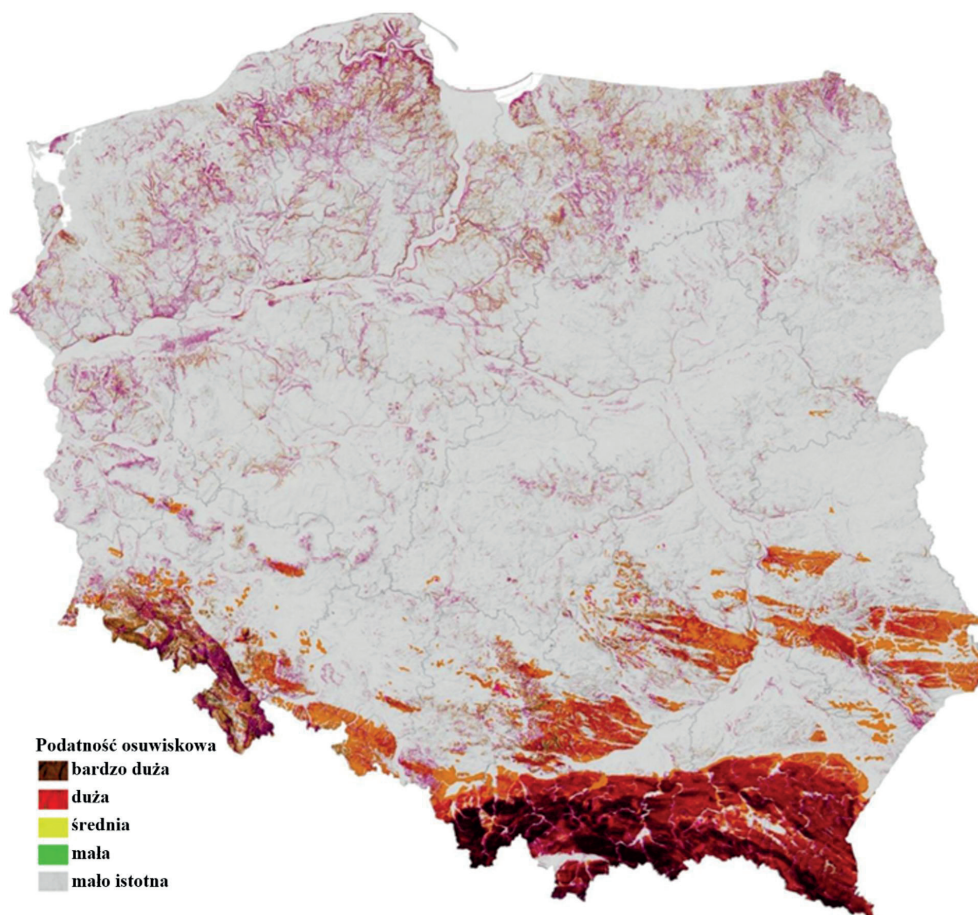
- opady nawalne zasilają rzeki i potoki przez szybki spływ powierzchniowy (szybką koncentrację fali wezbraniowej), ale już sam spływ stokowy stanowi źródło zagrożenia powodziowego, czyli powierzchniowego spływu stokowego o wysokiej prędkości; na przykład w Badenii-Wirtembergii ponad 60% strat występuje poza dolinami rzek, a na południu Polski procentowy udział tego rodzaju strat jest również znaczący, co dotyczy zwłaszcza obszaru Karpat, gdzie ten typ opadów wywołuje spływy stokowe na obszarach podatnych na osuwiska; na ilustracji 1.11 pokazano podatność na osuwiska w skali kraju; warto zauważyć, że region karpaccy jest najbardziej podatny na osuwiska, co wynika z jego budowy geologicznej; istotność tego problemu ilustrują skutki – w województwie małopolskim w czasie największych powodzi uruchomionych zostało w 2001 r. blisko 6000 osuwisk, a w 2010 r., już po wprowadzeniu restrykcji dotyczących zabudowy na takich obszarach, ok. 1300 osuwisk; szkody z tego tytułu w majątku lokalnym stanowiły znaczący procent ogólnej wartości strat;
- opady rozlewne zasilają rzeki przez bezpośredni spływ powierzchniowy, a także dopływ podpowierzchniowy i gruntowy, które łącznie zapewniają wyraźne opóźnienie dopływu wód opadowych do odbiorników rzecznych.

CECHY ZLEWNI

Charakterystyczne cechy zlewni, które determinują relację opad – odpływ oraz decydują o przebiegu formowania się i transformacji wezbrania (powodziowego), to:

- położenie geograficzne i rzeźba terenu,
- gleby (związane z budową geologiczną),
- pokrycie roślinne,
- sieć drenażowa, odprowadzająca wody opadowe systemem hydrograficznym (rzeki, potoki, kanały, a także strumienie czasowo wypełnione wodą).

W tabeli 1.2 przedstawiono w syntetycznym ujęciu istotne dla naturalnych źródeł (przyczyn) powodzi cechy charakterystyczne zlewni. Scharakteryzowano je przez elementy sprzyjające lub obniżające fizyczne parametry formowania się splotu (bezpośredniego odpływu wód opadowych) oraz wezbrań rzecznych, będących jego konsekwencją. Określenia „wezbranie” użyto tutaj również w odniesieniu do potoku, niezależnie od faktu, że trudno postrzeć jako klasyczne wezbranie szybki odpływ potokiem. Jest to zamierzony kolokwializm, aby nie wprowadzać innych określeń, praktycznie niesformalizowanych.



II. 1.11. Przestrzenna struktura podatności na osuwiska na obszarze Polski. Źródło: [69]

Tabela 1.2

Charakterystyczne cechy zlewni decydujące o zagrożeniu powodziowym

Cecha	Elementy sprzyjające/obniżające intensywność spływu i wezbrania	Efekty w zakresie zagrożenia powodziowego
Położenie geograficzne i rzeźba terenu	<p>Stromy teren (obszary górskie) sprzyja wezbraniom powodziowym przez:</p> <ul style="list-style-type: none"> – małe zdolności retencyjne stoków, – szybką koncentrację wezbrania w korycie rzeczonym, – niską retencję korytową rzeki/potoku, co ogranicza redukcję wielkości wezbrania. 	<ul style="list-style-type: none"> – Wysoki współczynnik odpływu wód opadowych, czyli intensywny spływ. – Szybki przyrost stanów (przepływów) w rzece/potoku. – Wysokie prędkości przesuwania się kulminacji wezbrania. – Transformacja fali wezbraniowej bez znacznego obniżenia jej kulminacji (maksymalnych przepływów).
Gleby	<ul style="list-style-type: none"> – Zdolność retencionowania części opadu sprzyja ograniczeniu spływu bezpośredniego, a tym samym wielkości wezbrania. Zdolność ta zależy od grubości warstwy glebowej, jej porowatości i wstępnego nasycenia wodą. – Wysokie potencjalne zdolności retencyjne odpływu wód opadowych, do 100 razy większe niż roślinności. 	<p>Wysokie potencjalne zdolności retencyjne wpływają na obniżenie:</p> <ul style="list-style-type: none"> – współczynnika odpływu opadu, – prędkości przemieszczania się kulminacji wezbrań, – kulminacji fali zarówno w zakresie stanów, jak i przepływów.
Pokrycie roślinne	<ul style="list-style-type: none"> – Roślinność poprawia zdolności retencyjne gleby przez system korzeniowy. – Sama roślinność posiada ograniczone zdolności retencyjne, zależne od wysokości i gęstości, np. trawa do 2 mm, a las do 10 mm opadu. 	<p>Wzrost potencjalnej zdolności retencyjnej gleby we współpracy z roślinnością wpływa na dalsze obniżenie:</p> <ul style="list-style-type: none"> – współczynnika odpływu opadu, – prędkości przemieszczania się kulminacji wezbrań, – kulminacji fali zarówno w zakresie stanów, jak i przepływów.
Sieć drenażowa, czyli system hydrograficzny odpływu	<ul style="list-style-type: none"> – Wprowadza retencję korytową rzek i potoków o małej, średniej lub dużej wartości w odniesieniu do transformacji wezbrania. – Im większa i wolniej płynąca rzeka, tym retencja korytowa bardziej sprzyja ograniczeniu zagrożenia. – Im gęstsza sieć drenażowa, tym wyższy poziom retencji sprzyjającej ograniczeniu zagrożenia. – Sieć drenażowa na terenach górskich ma bardzo ograniczone możliwości retencji korytowej, a bardzo płytka warstwa glebowa i ograniczona roślinność również nie wpływa na wzrost retencji wód. 	<ul style="list-style-type: none"> – Naturalny układ hydrograficzny, zarówno na obszarach podgórskich, jak i nizinnych, sprzyja obniżeniu prędkości przemieszczania się fali wezbraniowej oraz obniżeniu jej kulminacji, również dzięki retencji glebowej i gruntowej oraz roślinnej. – Naturalny układ hydrograficzny na obszarach górskich na ogół nie ogranicza transformacji fali, a często sprzyja przyspieszeniu jej przemieszczania i istotnemu wzrostowi wysokości kulminacji.

1.2.2. ODDZIAŁYWANIA (PRESJE) NA CZYNNIKI SPRAWCZCE POWODUJĄCE WZROST ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Dwie grupy presji, czyli czynników sprawczych, od wieków powodują systematyczny wzrost zagrożenia powodziowego o zróżnicowanym nasileniu i tempie w czasie. Są to:

- **czynniki o charakterze naturalnym**, które obejmują:
 - a) zmiany w zakresie charakterystyk geograficzno-geologicznych, które w skali czasowej naszej egzystencji mają charakter niezmienny lub prawie niezmienny (niezauważalny) w odniesieniu do historycznych i bieżących szkód i strat powodziowych,
 - b) zmiany klimatu, zauważalne i istotne obecnie oraz w naszej bliższej i dalszej przyszłości;
- **czynniki o charakterze antropogenicznym**, które obejmują:
 - a) zmiany w użytkowaniu i zabudowie terenu, czyli zagospodarowaniu przestrzennym,
 - b) zmiany morfologii koryt rzecznych, wynikające z zabudowy hydrotechnicznej koryt rzek i ich dolin.

Formalnie powinno omawiać się te presje według podanego porządku, zaczynając od naturalnych. Jednak biorąc pod uwagę fakt, że siła i wpływ presji antropogenicznych leżą u podstaw współczesnej polityki wodnej w zakresie ograniczania zagrożenia i zarządzania ryzykiem powodziowym, zaczynamy właśnie od tej grupy zagadnień, tym bardziej że obecna wiedza częściowo wiąże nasilenie się zmian klimatycznych z oddziaływaniami antropogenicznymi.

PRESJE – CZYNNIKI O CHARAKTERZE ANTROPOGENICZNYM

Presje antropogeniczne w skali globalnej i regionalnej mają swoje źródło w czynnikach wzrostu, odnoszących się do:

- 1) liczby ludności,
- 2) rozwoju cywilizacyjnego, powiązanego ze wzrostem liczby ludności i opartego na istotnych zmianach w użytkowaniu i zabudowie terenu, co skutkuje terytorialnym ograniczeniem środowiska roślinnego oraz niekorzystnymi przemianami stosunków wodnych w środowisku glebowo-roślinnym,
- 3) powiązanego z powyższymi, szybkiego rozwoju urbanizacji (rozwój obszarów miejskich, rozwój transportu o dużej zajętości terenu oraz infrastruktury technicznej), spowodowanej również istotnym wzrostem odsetka ludności zamieszkałej na obszarach miejskich.

Odnosząc skutek tych presji do charakteru spływów i wezbrań powodziowych, wywołanych odpływem wód opadowych, możemy go scharakteryzować następująco:

- zmiany w użytkowaniu i zabudowie terenu zlewni powodują zmiany przebiegu kształtowania się wezbrań (np. wzrost stopnia uszczelnienia zlewni przyspiesza koncentrację wezbrań i powoduje wzrost natężenia przepływów, a także objętości fali),

- zmiany w obszarze spływu wód, wynikające z zabudowy koryt rzek i zlewni rzecznej, skutkują zmianami w przebiegu procesu transformacji wezbrań.

Jednak najbardziej interesująca jest odpowiedź na pytanie, jaki jest wpływ tych presji i ich oddziaływań na kształtowanie się zagrożenia powodziowego. Analizując czynniki antropogeniczne w ujęciu historycznym, łatwiej będzie odpowiedzieć na to pytanie i zrozumieć obecną politykę wodną dotyczącą ograniczenia zagrożenia powodziowego na skutek tych presji. Należy bowiem podkreślić, że przyrost liczby ludności w cyklu historycznym, rozwój cywilizacyjny oraz rozwój urbanizacji, to silnie powiązane wzajemnie czynniki, które kształtują oddziaływania antropogeniczne powodujące wzrost zagrożenia powodziowego.

WZROST LICZBY LUDNOŚCI

Podstawowe dane liczbowe, szacujące wielkość zaludnienia w skali globalnej, stanowią, że liczba ludności na świecie wynosiła:

- ok. 150 mln na początku naszej ery,
- ok. 350 mln w 1000 r.,
- ponad 1 mld w pierwszej połowie XIX w. (na skutek gwałtownego wzrostu od połowy XVIII w.), - ponad 2 mld w pierwszej połowie XX w.

Jest to przyrost bardzo gwałtowny, którego apogeum osiągnęliśmy obecnie, a prognozy zakładają jego dalszy wzrost aż do 2100 r. Rok ten stanowi horyzont obecnych prognoz zmian urbanizacyjnych i klimatycznych.

Posługując się danymi opracowanymi przez firmę Deloitte [31], w tabeli 1.3 przedstawiono dane światowe dotyczące liczby ludności z 2017 r. i na tej podstawie prognozę do 2100 r.

Tabela 1.3

Prognoza ludności świata i regionów do 2100 r. (wg [31])

Świat, region	Liczba ludności w roku			
	2017	2030	2050	2100
Świat	7,6 mld	8,6 mld	9,8 mld	11,2 mld
Europa	742 mln	739 mln	716 mln	653 mln
Azja	4,504 mld	4,947 mld	5,257 mld	4,780 mld
Australia i Oceania	41 mln	48 mln	57 mln	72 mln
Afryka	1,256 mld	1,407 mld	2,528 mld	4,468 mld
Ameryka Północna	361 mln	395 mln	435 mln	491 mln
Ameryka Łacińska i Karaiby	646 mln	718 mln	780 mln	712 mln

Na pewno w tych liczbach rzuca się w oczy gwałtowny wzrost liczby ludności w skali globalnej, jak również bezwzględna niewielka liczba ludności Europy i jej

systematyczny spadek. W tej sytuacji wielokrotny wzrost ludności Afryki i procentowo znaczące wzrosty w pozostałych regionach wskazują na przemiany cywilizacyjne i odmienne modele rozwojowe w skali globalnej.

Liczba ludności Europy osiągnęła swój maksymalny wzrost pod koniec XX w. Od tego czasu następuje niewielki, aczkolwiek systematyczny jej spadek. Przyrosty układają się różnie w poszczególnych krajach. W Polsce od blisko 20 lat liczba ludności utrzymuje się mniej więcej na tym samym poziomie.

Intensywny wzrost liczby ludności to wzrost zajętości terenu pod zamieszkanie oraz rozwój. Towarzyszące temu procesowi przemiany cywilizacyjne ograniczyły naturalną przestrzeń rzek i ich dolin. To podstawowa presja, skutkująca koniecznością odprowadzenia wód opadowych w zawężonych korytarzach rzecznych, a tym samym przy znacznie wyższych stanach niż dawniej. Jeśli dodamy do tego wzrost majątku na terenach przybrzeżnych, to mamy prostą odpowiedź na genezę wzrostu zagrożenia powodziowego.

PRZEMIANY CYWILIZACYJNE

Wzrostowi liczby ludności towarzyszą przemiany cywilizacyjne, związane z rozwojem ekonomicznym i charakterem gospodarki. To wiąże się z istotną zmianą w użytkowaniu terenu i wzrostem jego zabudowy.

Przytaczając dane za firmą Deloitte [31], wzrost powierzchni zabudowanej w Europie w ciągu zaledwie 25 lat (1990-2014) osiągnął następujące wartości:

- w 1990 r. – 110 766 km²,
- w 2000 r. – 125 041 km²,
- w 2014 r. – 144 550 km².

W sumie jest to wzrost o ok. 30% w stosunku do 1990 r.

Skupiając się na okresie po II wojnie światowej, w tabeli 1.4 przedstawiono przemiany gospodarcze w Polsce i towarzyszące im przemiany społeczne, obejmujące przemieszczanie się ludności z terenów wiejskich do miast.

Tabela 1.4

Przemiany społeczno-gospodarcze w Polsce po II wojnie światowej

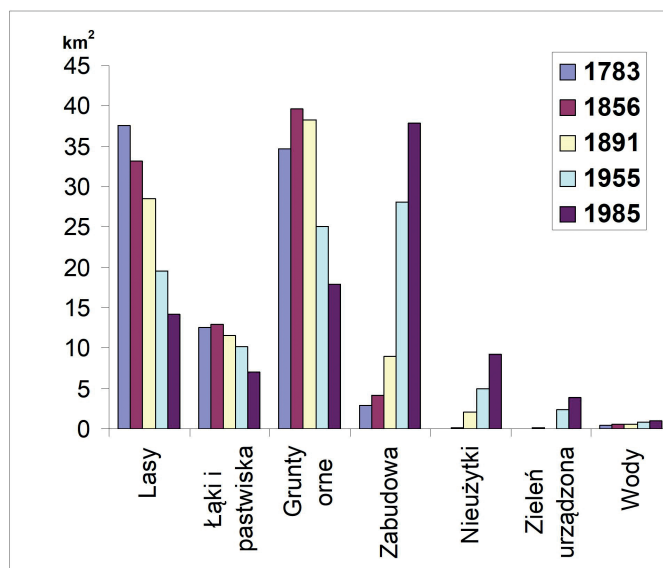
Rok	Liczba ludności [mln]	Wskaźnik zaludnienia [l. osób/km ²]	Wskaźnik urbanizacji – ludność miejska [%]	Przewaga gospodarki, urbanizacja
1946	23,6	76	31,8	Rolna / Rozwój przemysłu
1950	25,0	80	36,9	Rolna / Rozwój przemysłu
1960	29,8	96	48,3	Rolna / Rozwój przemysłu / Urbanizacja
1970	32,7	105	52,3	Rozwój przemysłu / Urbanizacja
1980	35,7	114	58,7	Rozwój przemysłu / Urbanizacja

1990	38,2	123	61,8	Rozwój przemysłu i usług
1999	38,7	124	61,9	Utrwalenie urbanizacji przez rozwój infrastruktury i usług
Obecnie	38,0	123	61,0	Utrwalenie urbanizacji przez rozwój infrastruktury i usług oraz rozwój technologiczny

Ogólnie we wszystkich regionach kraju nastąpiły istotne zmiany w użytkowaniu terenu i wzrost jego zabudowy – oczywiście nierównomierne, gdyż największe zmiany wystąpiły w województwach: śląskim, mazowieckim, dolnośląskim, zachodniopomorskim i pomorskim, a w pozostałych – średnie lub znacznie mniejsze.

Na ilustracji 1.12 przedstawiono zmiany w użytkowaniu terenu i jego zabudowie na obszarze miasta Sosnowiec w okresie 200 lat – od 1783 do 1985 r. Pokazuje to skalę zmian, z jakimi mamy do czynienia, niezależnie od faktu, że dane z Sosnowca kończą się na 1985 r., czyli znacznie wcześniej niż nastąpił poważny rozwój urbanizacji w Polsce. Ilustracja ta pokazuje, że wzrost areału zabudowy odbywał się przede wszystkim kosztem ograniczenia powierzchni lasów, łąk i gruntów rolnych, co wyraźnie podkreśla, że transformacja od pełnej dominacji gospodarki rolnej do przemysłu trwała długo, skutecznie realizując bardzo poważne zmiany w ograniczeniu terenów zielonych, które zmieniły stosunki wodne.

Ten rodzaj zmian glebowo-roślinnych określane jest mianem uszczelnienia powierzchni zlewni, która zmienia odpływ naturalny wód opadowych na wymuszony nowymi cechami zlewni.



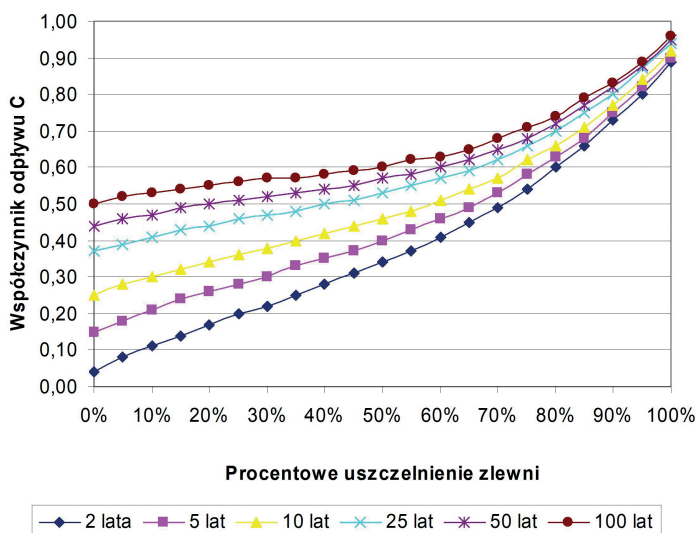
II. 1.12. Zmiany w użytkowaniu terenu na obszarze Sosnowca w okresie 200 lat. Źródło: [15]

Według ocen amerykańskich i europejskich ([17, 21]) w naturalnych warunkach glebowo-roślinnych opad o wartości nawet do 90% (praktycznie 50-90%) infiltruje w głąb gleby, a jego spływ powierzchniowy kształtuje się na poziomie 10-50%. Zależy to od wielkości i natężenia chwilowego opadu. Jeśli mamy do czynienia z opadami wywołującymi wezbrania średnie i niższe, infiltruje do 80-90% wód, a odpływa powierzchniowo zaledwie 10-20%. Jeśli występuje natomiast opad nawalny, relacje te ulegają zmianie i infiltruje 40-80% opadu, a odpływa 20-60%.

Jeśli uszczelnimy powierzchnię zlewni, zaczyna dominować intensywny spływ powierzchniowy, ponieważ warunki infiltracji wglębnej wód opadowych są bardzo ograniczone, a brak roślinności uniemożliwia transpirację, czyli parowanie przez filtr termiczny. Intensywny spływ powierzchniowy przyspiesza odpływ powodziowy i jednocześnie podwyższa jego kulminację.

W celu zobrazowania, jaki jest realny wpływ takich przemian na kształtowanie się odpływu opadu, posłużymy się wynikami z blisko 50 lat badań terenowych w ponad 50 zlewniach amerykańskich [17]. Badania te miały na celu ilościową identyfikację wpływu różnego rodzaju zagospodarowania przestrzennego oraz zabudowy terenu na ocenę stopnia uszczelnienia powierzchni zlewni, liczonego w procentach [%]. Jest to dość złożony problem, ponieważ uszczelnienie musi odzwierciedlać typowe dla danego regionu standardy zagospodarowania przestrzennego. Model obowiązujący w Stanach Zjednoczonych jest inny niż w Europie, a kraje europejskie również są w tym względzie zróżnicowane.

Na ilustracji 1.13 zaprezentowano wpływ procentowego uszczelnienia powierzchni zlewni na wzrost współczynnika odpływu opadu, począwszy od niższego



Il. 1.13. Wpływ procentowego uszczelnienia zlewni na współczynnik odpływu dla określonych charakterystyk opadów w przypadku gleb kategorii C i D. Według [17]

(zdarzającego się co 2 lata) do najwyższego (zdarzającego się raz na 100 lat, co odpowiada prawdopodobieństwu 1%). Przedstawione wartości odpowiadają warunkom glebowym typowym na obszarach poddanych urbanizacji. Są to gleby oznaczane symbolami C i D, co w nomenklaturze polskiej odpowiada glebom gliniastym i pylistym o przepuszczalności poniżej średniej (C) oraz o małej przepuszczalności (D), ułatwiającym powstanie spływu powierzchniowego w warunkach wystąpienia opadu.

Ilustracja 1.13 wskazuje wyraźnie, że w przypadku najwyższych opadów współczynnik odpływu rośnie dwukrotnie, ale przy średnich i niższych opadach ten wzrost sięga wielokrotności 3-5, co stanowi bardzo poważny problem.

Tabela 1.5

Stopnie uszczelnienia powierzchni zlewni dla zróżnicowanych typów zagospodarowania przestrzennego i zabudowy (oprac. własne na podstawie [9] i [17])

Kategoria (rodzaj) zagospodarowania powierzchni (wg klasyfikacji USA)		Odpowiedniki wg polskiej klasyfikacji zagospodarowania przestrzennego	
Kategoria zagospodarowania powierzchni (klasyfikacja USA)	Stopień uszczelnienia [%]	Typ użytkowania terenu	Stopień uszczelnienia [%]
Rolnictwo (pasterstwo – łąki)	2 (1)	Tereny zielone – pastwiska, lasy, tereny rolne (ZN, ZL, R)	0,5
Lasy (urządzone)	0,5		
Otwarty teren zurbanizowany	9	Tereny zabudowy zagrodowej (MR, MRN)	60
1 gospodarstwo / 1 ha	14	Tereny intensywnej produkcji rolnej (RU, RPO)	10-20
1 gospodarstwo / 0,5 ha	21		
1 gospodarstwo / 0,25 ha	28		
1 gospodarstwo / 0,125 ha	33		
Zabudowa willowa	41	Tereny zabudowy jednorodzinnej (MN)	40-70
Zabudowa wielorodzinnych domów	44	Tereny mieszkaniowo-usługowe (MU)	50-70
Instytucje	38	Tereny mieszkaniowo-usługowe (MU)	50-75
Przemysł lekki	56	Tereny przemysłowe (P)	60-75
Centra komercyjne	74		ok. 75
		Tereny obsługi turystyki i narciarstwa (US)	5
		Tereny infrastruktury technicznej (IT)	70

W tabeli 1.5 przedstawiono, jak rodzaj użytkowania terenu wpływa na procentowy poziom uszczelnienia powierzchni zlewni na podstawie podanych wyżej

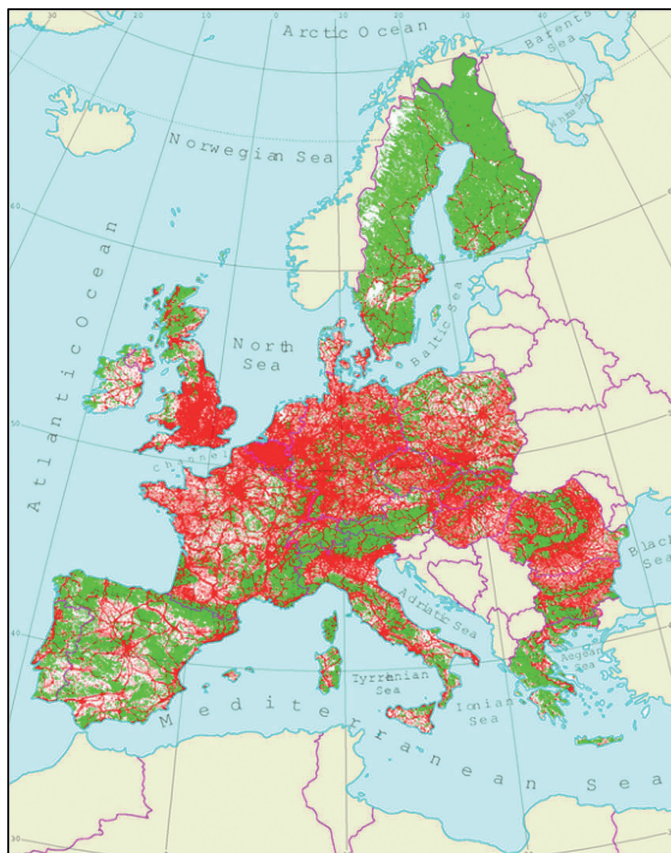
doświadczeń amerykańskich [17] oraz próby ich aplikacji do naszych krajowych warunków na przykładzie zlewni Raby w dorzeczu górnej Wisły [9].

Dane przedstawione w tabeli pokazują, że każda działalność, wkraczając w teren, zmienia warunki lokalne i stosunki wodne, wpływając na wzrost potencjału powodziowego. Jest to oczywiste i niezbędne dla rozwoju, ale wymaga rozwiązań ograniczających wpływ wzrostu zagrożenia.

ROZWÓJ URBANIZACJI

Kolejny etap przemian rozwojowych, który w krajach zachodnich rozpoczął się w latach 20. XX w., a w Polsce pod koniec XX w. (zgodnie z tab. 1.4), to okres szybkiej i intensywnej urbanizacji.

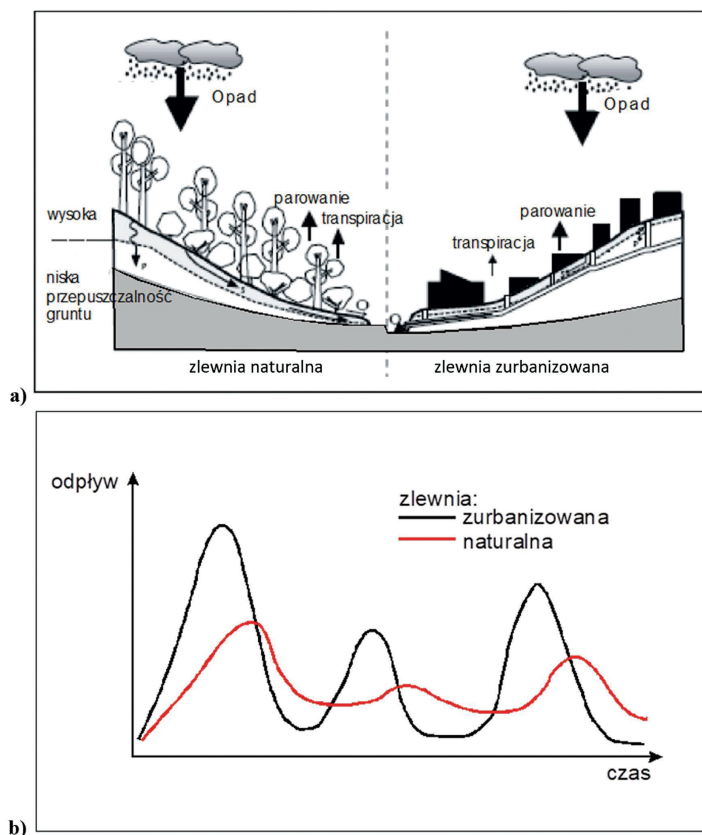
Jej poziom jest mierzony odsetkiem ludności zamieszkałej na obszarach miejskich. Jednak, biorąc pod uwagę obecny zakres i tempo rozwoju, urbanizacja jest



Il. 1.14. Presja, oznaczona czerwonym kolorem, ze strony obszarów miejskich i sieci transportowej w krajach Unii Europejskiej w 2009 r. Źródło: [21]

zaawansowanym procesem ekonomicznym. W sferze zabudowy dotyczy zabudowy miejskiej, ale również infrastruktury komunalnej i transportowej. Obserwujemy współcześnie rozwój infrastruktury w niespotykanej dotąd skali. Na ilustracji 1.14 pokazano stan na 2009 r. w zakresie presji obszarów miejskich i sieci transportowej w krajach Unii Europejskiej.

Z punktu widzenia wskaźników urbanizacji najwyższe obserwujemy w krajach wysoko rozwiniętych, takich jak Belgia – 96%, Wielka Brytania – 90% czy Holandia – 89%. Jak wspomniano wcześniej, wynika to między innymi z faktu, że intensywny proces urbanizacji rozpoczął się tam znacznie wcześniej – w latach 20.-30. XX w. Według danych ONZ (<https://population.un.org/>) najniższe z kolei wartości występują przede wszystkim w krajach Afryki i Azji (np. w Etiopii – 13%, w Bangladeszu – 18% oraz w Indiach – 24%). Natomiast w Polsce wskaźnik urbanizacji wynosi obecnie 61%. Ten poziom utrzymuje się od kilku lat i jest dużo niższy od krajów Europy Zachodniej, gdzie średnio wynosi on ponad 80%.



II. 1.15. Wynik presji urbanizacyjnej: a) zmiany w stosunkach wodnych; b) efekt zmian w postaci zmiany procesu odpływu wód opadowych

Mieszkańców miast stale przybywa, choć nowe osoby najczęściej zamieszkują periferia miast (tzw. suburbanizacja). Dlatego też w procesach urbanizacji pojawiły się różne formy, które tworzą:

- aglomeracje, czyli obszary o dużym skupieniu ludności, której źródłem dochodu jest działalność pozarolna, np. Warszawa, Paryż, Londyn, Moskwa,
- konurbacje, swoisty rodzaj aglomeracji miejsko-przemysłowej, gdzie żadne z kilku dużych miast nie posiada statusu dominującego, np. GOP w województwie śląskim, Zagłębie Ruhry, Zagłębie Donieckie,
- megalopolis, czyli strefa koncentracji ludności miejskiej na długości nawet kilkuset kilometrów, np. od Bostonu do Waszyngtonu w Stanach Zjednoczonych.

Obszary miejskie i inne silnie zurbanizowane (np. węzły drogowe) wymagają wsparcia w odpływie wód opadowych. Ze względu na wysoki stopień uszczelnienia powierzchni gruntu naturalny system hydrograficzny i drenażowy nie jest w stanie podołać temu odpływowi, dlatego wprowadza się kanalizację wód opadowych. Obecne przepisy wymagają budowy takiej odrębnej sieci, gdyż dotychczas wody opadowe odprowadzane były do kanalizacji ściekowej, stanowiąc kanalizację ogólnospławną. Jak to oddziałuje na odpływ, pokazuje schematycznie ilustracja 1.15.

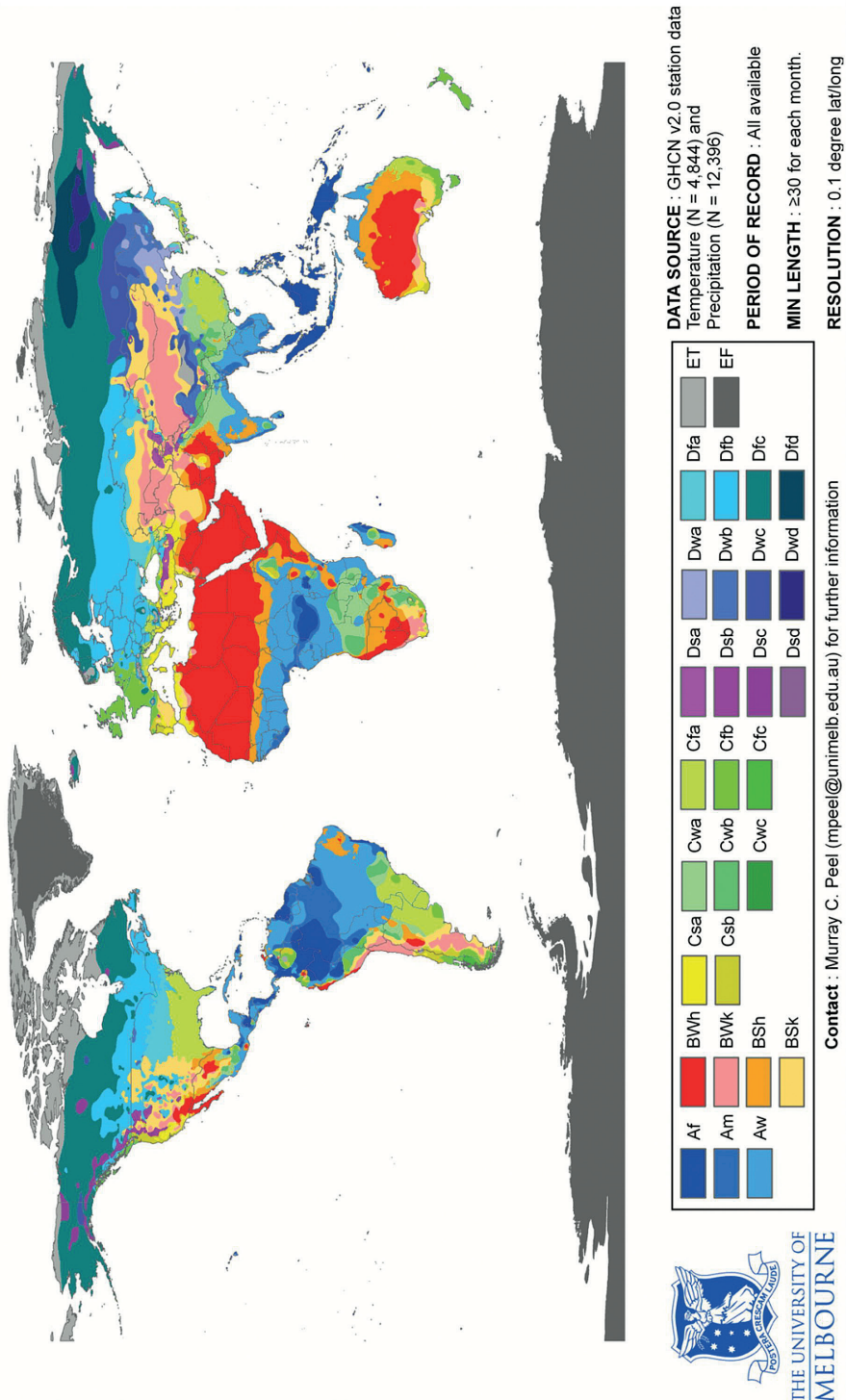
Reasumując, presje antropogeniczne są ze sobą ściśle powiązane, a ich wpływ ma poważne znaczenie dla przyspieszenia i wzrostu kulminacji odpływu wód opadowych, co ma bezpośredni wpływ na wzrost zagrożenia powodziowego.

PRESJE – CZYNNIKI O CHARAKTERZE NATURALNYM

Jak wspomniano wcześniej, presje o charakterze naturalnym, istotne dla wzrostu zagrożenia powodziowego, obejmują zmiany klimatyczne, które obserwujemy obecnie z coraz większym niepokojem. Zmiany klimatyczne objawiają się przez **zmiany charakterystyk opadowych** (rozkładu przestrzennego, intensywności, czasu trwania i częstotliwości ekstremalnych opadów) oraz **zmiany temperatury**.

Zmiany te są w pewnym zakresie ze sobą powiązane. Z punktu widzenia presji wywołujących wzrost zagrożenia powodziowego w naszym kraju, istotna jest charakterystyka opadowa i jej skutki stanowiące o poziomie zagrożenia powodziowego. Zatem skupimy uwagę właśnie na tym zagadnieniu.

Zmiany klimatyczne nie są czymś nowym, a w skali tysięcy i większej – geologicznej, pojawiały się okresowo. Obecnie mamy do czynienia ze zmianami naturalnymi, które są wzmacniane emisją do atmosfery gazów cieplarnianych i dwutlenku węgla na skutek intensywnego rozwoju w określonych warunkach technologicznych. Pierwszy obszerny przegląd światowych badań nad zmianami klimatycznymi został opracowany przez Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu (IPCC) i opublikowano go w 1990 r. Stanowił on podstawę do uchwalenia Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu. Autorzy raportu potwierdzili wpływ



II. 1.16. Klasyfikacja klimatyczna świata według typów Köppena–Geigera. Źródło: [68]

emisji gazów cieplarnianych związanych z działalnością człowieka na efekt cieplarniany. Stwierdzono, że przy braku działań zmierzających do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, średnia globalna temperatura będzie rosła w tempie $0,3^{\circ}\text{C}/10$ lat.

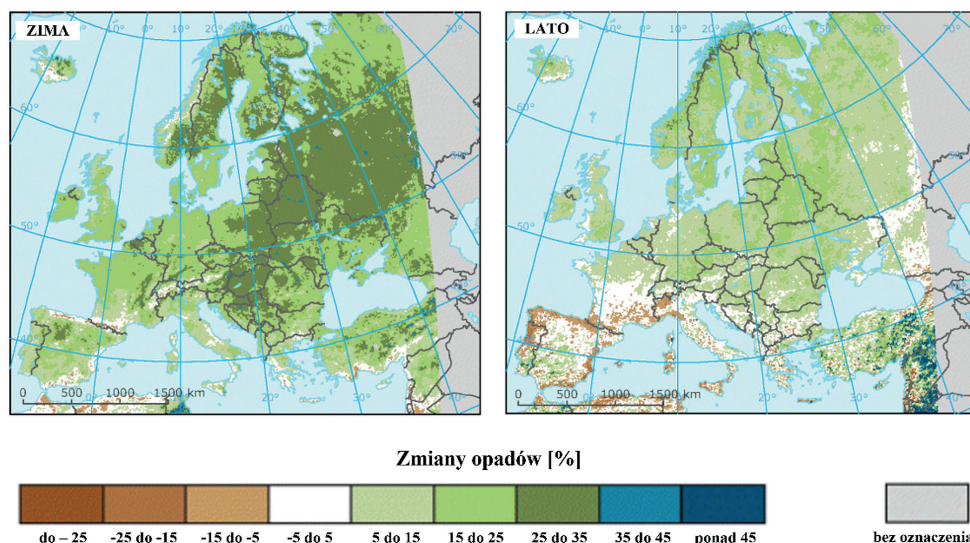
Od tej pory rozpoczęto rozwój systematycznych badań z obowiązkiem raportowania [13, 23]. Ta systematyczność objęła także uszczegóławianie informacji w skali przestrzennej oraz prognozowanie zmian (obecnie do 2100 r.). Kolejno dołączano oceny wrażliwości poszczególnych obszarów na zmiany klimatu oraz ich skutków, w tym dotyczących wpływu na zagrożenie powodziowe. Podstawowe dane oraz analizy i oceny zamieszczane są na stronie internetowej Europejskiej Agencji Środowiska [21].

Na ilustracjach 1.16-1.20 zaprezentowano kluczowe wyniki w tym zakresie w skali europejskiej, tak aby można było zinterpretować je pod kątem naszego kraju.

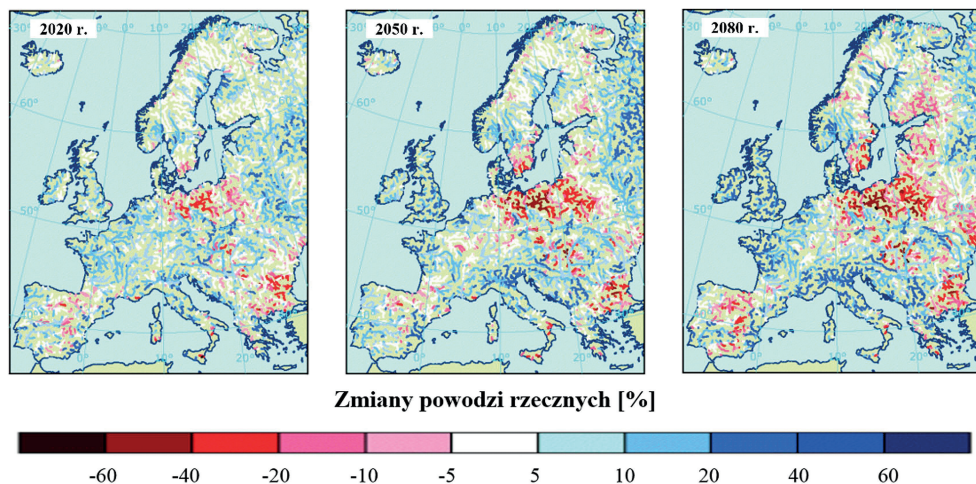
Zacznijmy od podstawowej klasyfikacji klimatycznej Köppena–Geigera, która uzależnia typy klimatyczne od średnich miesięcznych wartości temperatury i opadów. Jej podstawa wyróżnia pięć typów podstawowych, oznaczonych od A do E, pokazanych na ilustracji 1.16. Są to typy pierwotne: 1) A – tropikalny, 2) B – suchy, 3) C – łagodna szerokość geograficzna, 4) D – zimna szerokość geograficzna, 5) E – polarny. Tę podstawę podzielić można na drugorzędne klasy (druga litera w podstawie), takie jak las deszczowy, monsun, tropikalna sawanna i inne.

Polska należy do zimnej szerokości geograficznej. Znaczna część Europy Zachodniej to typ C, zróżnicowany od ciepłego do umiarkowanego.

Na ilustracji 1.17 pokazano prognozowane zmiany największych opadów zimowych i letnich na bazie obserwacji z lat 1971-2000 dla scenariusza średnich warunków ograniczania emisji gazów cieplarnianych i CO_2 na lata 2071-2100.



Il. 1.17. Prognozowane zmiany największych opadów zimowych i letnich do 2100 r. Według [21]



II. 1.18. Wzrost wielkości powodzi średnich w latach 2020, 2050 i 2080 na podstawie analizy z lat 1961-1990. Według [21]

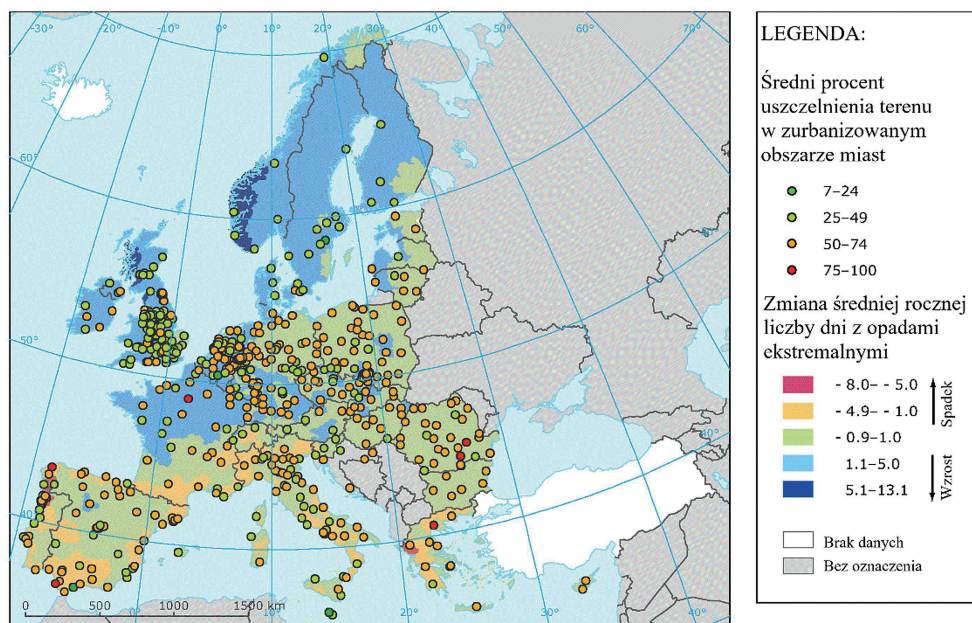
Polska w zakresie opadów letnich – najgroźniejszych dla powodzi – będzie o ok. 15-25% bardziej narażona w stosunku do XX w. Ten wzrost opadów musi wywołać reakcje w zakresie wzrostu zagrożenia powodziowego, co pokazano na ilustracjach 1.18 i 1.19. Prognozy te ukazują również średnie warunki ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i CO₂.

Na ilustracji 1.18 przedstawiono systematyczny wzrost wielkości powodzi średnich, kolejno w latach 2020, 2050 i 2080, na podstawie analizy z lat 1961-1990. Co ciekawe, w Polsce wzrost jest prognozowany na południu kraju, zaś w części centralnej i północnej obniżenie wielkości tych powodzi.

Podobnie kształtuje się ten wzrost dla powodzi o prawdopodobieństwie 1% (tzw. stuletniej) w latach 2071-2100. Obecne tendencje pokazują, że przesunięcie bazy porównawczej o 10 lat, czyli do 2000 r., ma wpływ na te relacje, w kierunku wzrostu zagrożenia w większej części kraju. Ważne jest zatem, aby być świadomym niepewności opracowywanych prognoz.

Z kolei na ilustracji 1.19 zaprezentowano, omawiany wcześniej, trend wzrostu zagrożenia powodziowego na skutek wzrostu poziomu urbanizacji i występowania tzw. powodzi miejskich, których źródła są bardziej złożone. Bazę stanowią lata 1961-1990, a prognoza obejmuje okres 2071-2100. Jak widać, w Polsce wzrost ten szacowany jest do poziomu 74%, a prognoza na 2050 r. przewiduje 70,4% [31]. Jest to wzrost o wartość 10% w ciągu najbliższych 30 lat i dalszy w latach kolejnych.

W tej sytuacji komentarza wymaga przestrzenna struktura zmian klimatycznych na terenie Polski, wykazująca wzrost zagrożenia powodziowego. Tematem tym zajmował się międzynarodowy zespół, działający w ramach zrealizowanego w latach 2014-2017 projektu polsko-norweskiego – Ocena konsekwencji zmian klimatu dla



II. 1.19. Uszczelnienie terenu na skutek urbanizacji z lokalizacją zagrożeń powodzią miejską. Według [21]

wybranych sektorów w Polsce CHASE-PL. Wyniki jego prac uwzględniały ostatnie raporty IPPC [13, 23] i zostały przedstawione w publikacji *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce* [73]. Poniżej przytoczono kluczowe wyniki tych badań w zakresie prognozy zmian opadów.

Na początek przytoczmy cytat z tej publikacji: „Rozumienie ostatnich zmian w systemie klimatycznym kształtowane jest przez połączenie obserwacji, badań procesów i symulacji modelowych. Z biegiem czasu dysponujemy bardziej szczegółowymi i dłuższymi seriami obserwacji oraz udoskonalonymi modelami klimatycznymi”. To istotne, że obecne badania i analizy oparte są na znacznie poszerzonej i bardziej wiarygodnej bazie danych.

Musimy tutaj skomentować wspomniane wcześniej średnie warunki ograniczania emisji gazów cieplarnianych i CO_2 , ponieważ obecnie rozważa się dwa (spośród czterech) scenariusze do analiz. Są to tzw. Reprezentatywne Scenariusze Stężeń Dwutlenku Węgla, oznaczane w skrócie RCP [21]. Są one identyfikowane przez przybliżone całkowite wymuszenie promieniowania w 2100 r. w stosunku do 1750 r. Scenariusz RCP2.6 oznacza redukcję promieniowania dwutlenku węgla do 2100 r. o wartość $2,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, a pozostałe: RCP4.5, RCP6.0 i RCP8.5, odpowiadają wymuszeniu redukcji promieniowania dwutlenku węgla do 2100 roku odpowiednio o wartości: 4,5, 6,0 oraz $8,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

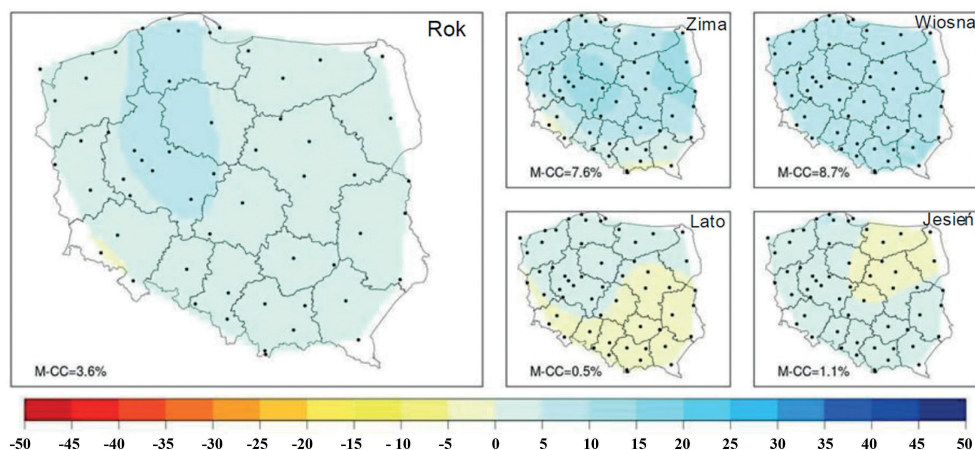
W ostatnim czasie, a także w cytowanym projekcie, analizuje się zmiany dla oczekiwanego scenariusza RCP4.5 oraz negatywnego dla nas, oznaczającego gwałtowny

wzrost średniej temperatury powietrza, RCP8.5. Biorąc pod uwagę starania w skali globalnej, aby nie dopuścić do niego, poniżej przytoczono wyniki dla scenariusza RCP4.5, zwanego racjonalnym, który przewiduje wzrost średniej temperatury powietrza w latach 2071-2100 w granicach 1,1-2,6°C. Niezależnie od przewidywanej mitygacji wpływu zmian klimatycznych, wzrostowi średniej temperatury powietrza towarzyszyć będzie nasilenie się ekstremalnych zjawisk pogodowych. Dotyczy to również ekstremalnych opadów i wywołanych nimi powodzi oraz powodzi sztormowych. Ryzyko takich zjawisk rośnie wraz ze wzrostem średniej temperatury.

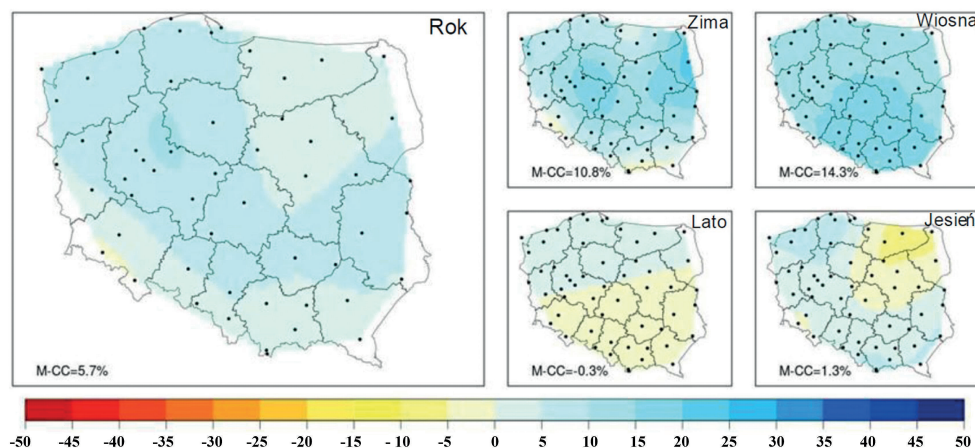
Na ilustracji 1.20 pokazano projekcje zmian opadów [%] w bliskiej przyszłości (2021-2050), a na ilustracji 1.21 odpowiednie projekcje dla dalszej przyszłości (2071-2100). Ograniczono je do scenariusza RCP4.5 i oparto na metodzie skalowania empiryczno-statystycznego (*Empirical-Statistical Downscaling*) z wykorzystaniem długich ciągów danych, która uśrednia wartości uzyskane z wielu modeli, przy uśrednieniu wszystkich stacji opadowych [73]. Wynik jest nieco wygładzony, ale wartościowy dla uświadomienia sobie poziomu tych zmian.

Powyższe projekcje wskazują, że na obszarze całego kraju wzrośnie zagrożenie powodziowe wiosenne, natomiast w okresie letnim wzrost zagrożenia będziemy obserwować w pasie północno-zachodnim, zaś jesienią na południu Polski.

Mówimy tu o naturalnych zmianach klimatycznych, ale interpretujemy je w kontekście adaptacji, polegającej na ograniczeniu przyczyn antropogenicznych. Na wstępie zaznaczyliśmy, że nie można rozdzielić wpływów naturalnych od antropogenicznych. Dlatego ważne jest rozumienie tego zagadnienia, ponieważ, jeśli nie włączymy tych zagrożeń w system planowania przestrzennego i realnej realizacji tych planów, nie wykorzystamy możliwości ograniczenia skutków zmian.



II. 1.20. Projekcje ESD zmian opadów [%] w bliskiej przyszłości (2021-2050) dla scenariusza RCP4.5. Źródło: [73]



II. 1.21. Projekcje ESD zmian opadów [%] dla dalszej przyszłości (2071-2100) dla scenariusza RCP4.5. Źródło: [73]

1.3. PRZYKŁAD KRAKOWA

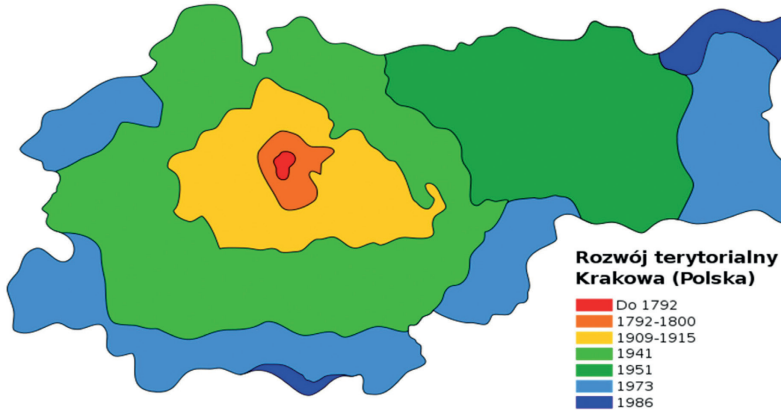
Aby zilustrować czynniki wpływające na wzrost zagrożenia powodziowego oraz ich rozwój w czasie, posłużono się przykładem Krakowa. Wybrano Kraków nie tylko z powodu, że to największa aglomeracja w dorzeczu górnej Wisły, ale również dlatego, że Kraków zajmuje drugą (po Warszawie) pozycję wśród 10 podregionów o najwyższym wskaźniku ekspozycji na zagrożenie powodziowe [31]. To drugie miejsce Kraków zawdzięcza potencjałowi kulturowemu i historycznemu oraz ekspozycji potencjału miejskiego na zagrożenie.

Historia zagrożenia powodziowego w Krakowie jest tak długa jak historia tego miasta. Musimy sobie jednak uświadomić, że obecne granice aglomeracji krakowskiej to efekt wielusetletniego rozwoju miasta wokół zamku na wzgórzu wawelskim, dlatego też czynniki antropogeniczne, czyli presje rozwojowe, są tutaj decydujące. Na ilustracji 1.22 zaprezentowano schematycznie etapy rozwoju miasta na podstawie analiz historycznych [3, 42].

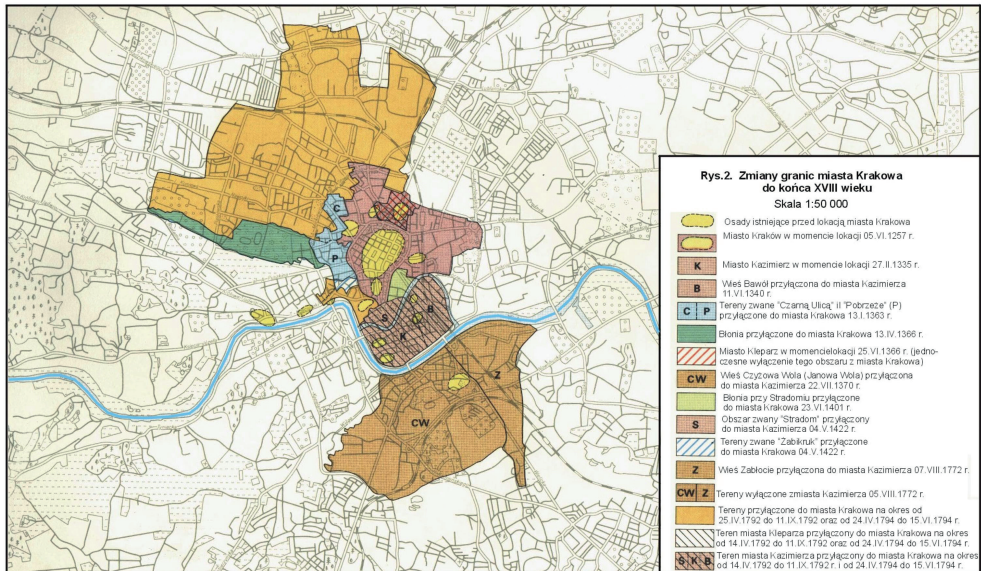
Ilustracja ta zaznacza, że do 1792 r. miasto zajmowało obszar bardzo ograniczony (okolice Wawelu). Aby uzmysłowić sobie rozwój miasta do końca XVIII w., na ilustracji 1.23 przedstawiono ten rozwój od okresu lokacji miasta w 1257 r. do końca XVIII w., a na ilustracji 1.24 przyrost ludności miasta do chwili obecnej. Te schematy uzmysławiają, że to dopiero ostatnie 200 lat rozwoju stanowi istotną presję antropogeniczną, związaną ze wzrostem zagrożenia powodziowego.

Presje antropogeniczne mają swoje źródło w rozwoju aglomeracji, a ich podstawowe czynniki, wpływające na rozwój zagrożenia powodziowego, obejmują:

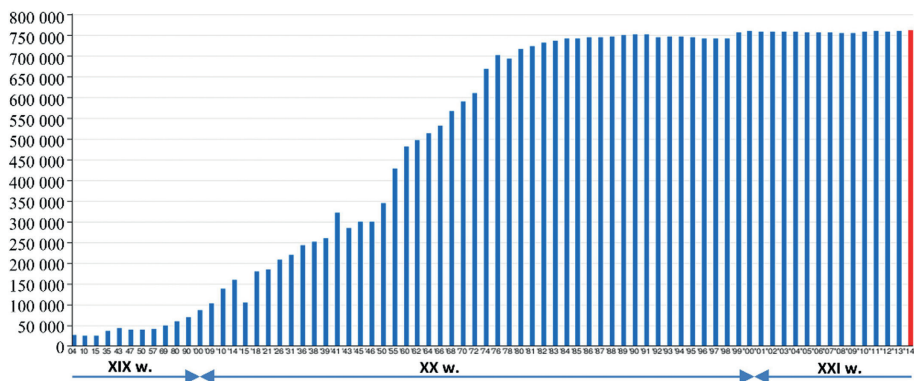
- presje na układ hydrograficzny (Wisła i jej dopływy), skutkujące zawężeniem koryta wielkiej wody przez regulację rzeki, skracającą jej bieg, i zabudowę wałami przeciwpowodziowymi, co powoduje przyspieszenie odpływu i wzrost stanów wody;
- rozwój mieszkalnictwa i infrastruktury komunalnej, transportowej i innej technicznej oraz społecznej, co zdecydowanie wpływa na wzrost poziomu uszczelnienia powierzchni gruntu i ograniczenia szaty roślinnej, a tym samym przyspiesza odpływ wód opadowych, a w wielu przypadkach wywołuje znaczące podtopienia na terenie miasta.



II. 1.22. Rozwój miasta Krakowa w ujęciu historycznym i obszarowym. Oprac. na podstawie [3] i [42]



II. 1.23. Rozwój Krakowa od czasu lokacji miasta do końca XVIII w. Źródło: [3]



II. 1.24. Liczba mieszkańców Krakowa od 1804 do 2014 r., od kiedy utrzymuje się na poziomie ok. 755 tys. mieszkańców

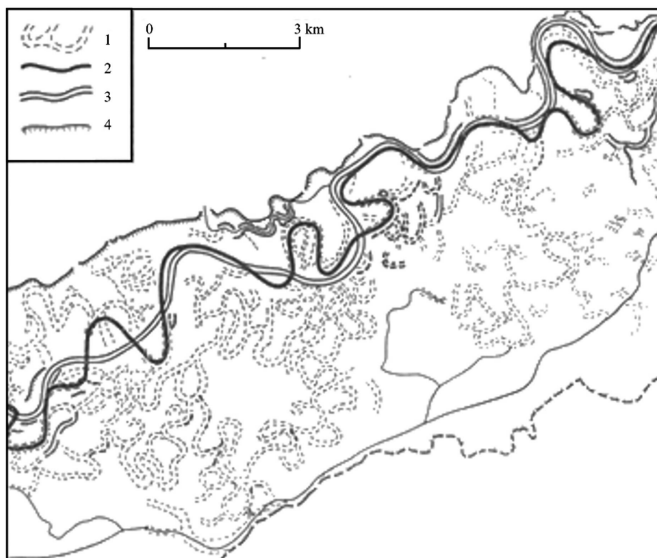
Ogólnie układ przestrzenny wszystkich miast historycznych jest w jakimś stopniu zależny od układu cieków wodnych. W przypadku Krakowa ten związek jest wyjątkowo mocny i odcisnął swój wyraźny ślad w zachowanej strukturze zabudowy historycznej [42, 53]. Problem rozwoju miast w rejonie Wisły, w tym Krakowa, to również problem intensywnej urbanizacji terenów przybrzeżnych oraz dopuszczenie rozwoju roślinności na terenie międzywała Wisły. W efekcie dochodzi do wzrostu poziomu zwierciadła fali powodziowej na Wiśle, dłuższego utrzymywania się stanów wysokich rzeki, a tym samym wzrostu możliwości awarii obwałowań. Tak stało się w maju 2010 r. w rejonie Sandomierza (zob. il. 1.34), kiedy doszło do przerwania obwałowania w zawężonej części koryta wielkiej wody Wisły.

Koryto wielkiej wody Wisły na obszarze Krakowa jest zawężone w stopniu zbliżonym do okolic miasta (zob. il. 1.26), gdzie dawna dolina Wisły, o szerokości 3,5-4,0 km, została zawężona do 500-1000 m. Jednak w Krakowie szerokość ta nie przekracza 500 m, a w samym centrum miasta, w rejonie Wawelu, szerokość koryta wielkiej wody wynosi zaledwie 190-200 m, co stanowi bardzo poważny problem. Ilustracje 1.25 i 1.26 pokazują przyczyny (antropopresję) i mechanizm zawężania koryta Wisły, co zostało wymuszone przejmowaniem terenów pod zabudowę w procesie rozwoju. Początkowo była to zabudowa rozproszona, nie ingerująca znacznie w stosunki wodne, jednak od końca lat 80. XX w., zarówno w Krakowie, jak i w jego okolicach, intensywność przemian w użytkowaniu terenu i w jego zabudowie jest bardzo poważna.

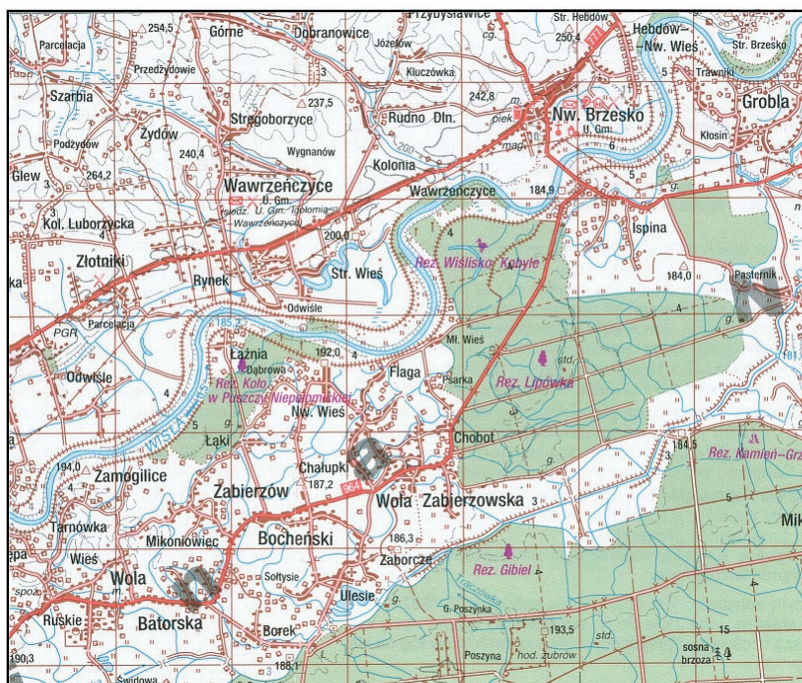
Problem ten dotyczy także dopływów Wisły na terenie miasta, ponieważ aglomeracja rozwija się promieniście od centrum staromiejskiego, a jej drugim biegunem rozwoju stała się przed laty Nowa Huta.

Presje urbanizacyjne na terenie miasta, skutkujące uszczelnieniem jego powierzchni terenu, przedstawiono na ilustracjach 1.27-1.29, na których zaprezentowano:

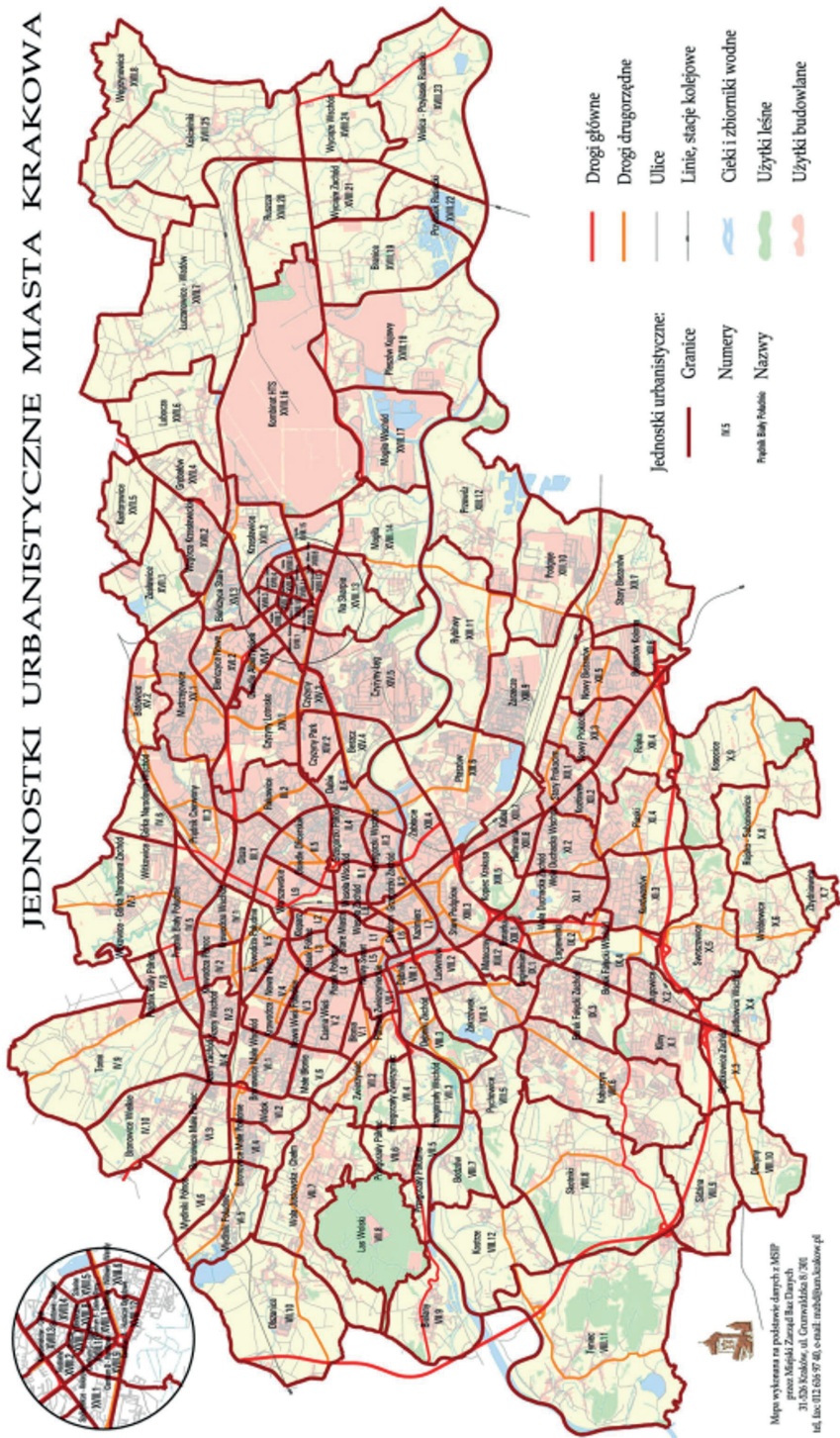
- podział obszaru miejskiego na podstawowe jednostki planistyczne, wprowadzone w Zmianie Studium Uwarunkowań i Kierunków Rozwoju Miasta Krakowa w 2014 r.,



II. 1.25. Układ historyczny doliny Wisły poniżej Krakowa: 1) historyczny zasięg starorzeczy Wisły; 2) koryto Wisły sprzed regulacji; 3) uregulowane koryto Wisły; 4) wysoki brzeg ograniczający lewostronną dolinę Wisły. Według [8]



II. 1.26. Stan obecny doliny Wisły poniżej Krakowa po regulacji z uwzględnieniem istniejącej zabudowy wałami przeciwpowodziowymi. Według [8]



Il. 1.27. Jednostki urbanistyczne miasta Krakowa w nowym układzie planistycznym. Źródło: [72]

- wyznaczone w tych lokalnych obszarach, procentowe wartości uszczelnienia powierzchni terenu minimalnej oraz maksymalnej (dopuszczonej do realizacji w najbliższych latach),
- określoną na tej podstawie różnicę poziomu uszczelnienia, czyli wartość, o którą w najbliższych latach zwiększy się średni poziom uszczelnienia na obszarze każdej z jednostek.

Powyższe wyniki analiz zostały opracowane przez zespół Politechniki Krakowskiej (w tym autorów niniejszego podręcznika) na podstawie dokumentów planistycznych [47] w ramach realizacji projektu Opracowanie koncepcji ograniczenia zagrożeń wynikających z braku możliwości efektywnego odprowadzenia wód opadowych systemem kanalizacyjnym w Krakowie, Etap I: *Identyfikacja przyczyn, stanu i skutków obecnego funkcjonowania systemu*, sporządzone na potrzeby Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Krakowie [47].

Jak widać, już obecnie poziom uszczelnienia powierzchni gruntu, liczony jako wartość średnia, jest wysoki, bowiem w 2015 r. osiągnął ok. 25%, a obecnie – po modernizacji istniejącego systemu transportowego i jego rozbudowie – jest już znacznie większy. Oczywiście na obszarach bardzo intensywnie zabudowanych uszczelnienie osiąga lub przekracza 80%. Można jednak sądzić, że w najbliższych latach wielkość ta wzrośnie o co najmniej 10%. W takiej sytuacji presja urbanizacyjna, zarówno dotycząca tempa, jak i siły oddziaływania, jest dominująca.

Presjom rozwojowym towarzyszą presje ze strony czynników naturalnych, do których należą: układ hipsometryczny, czyli topografia miasta, oraz czynniki klimatyczne, które w dużej mierze są z tym układem hipsometrycznym związane.

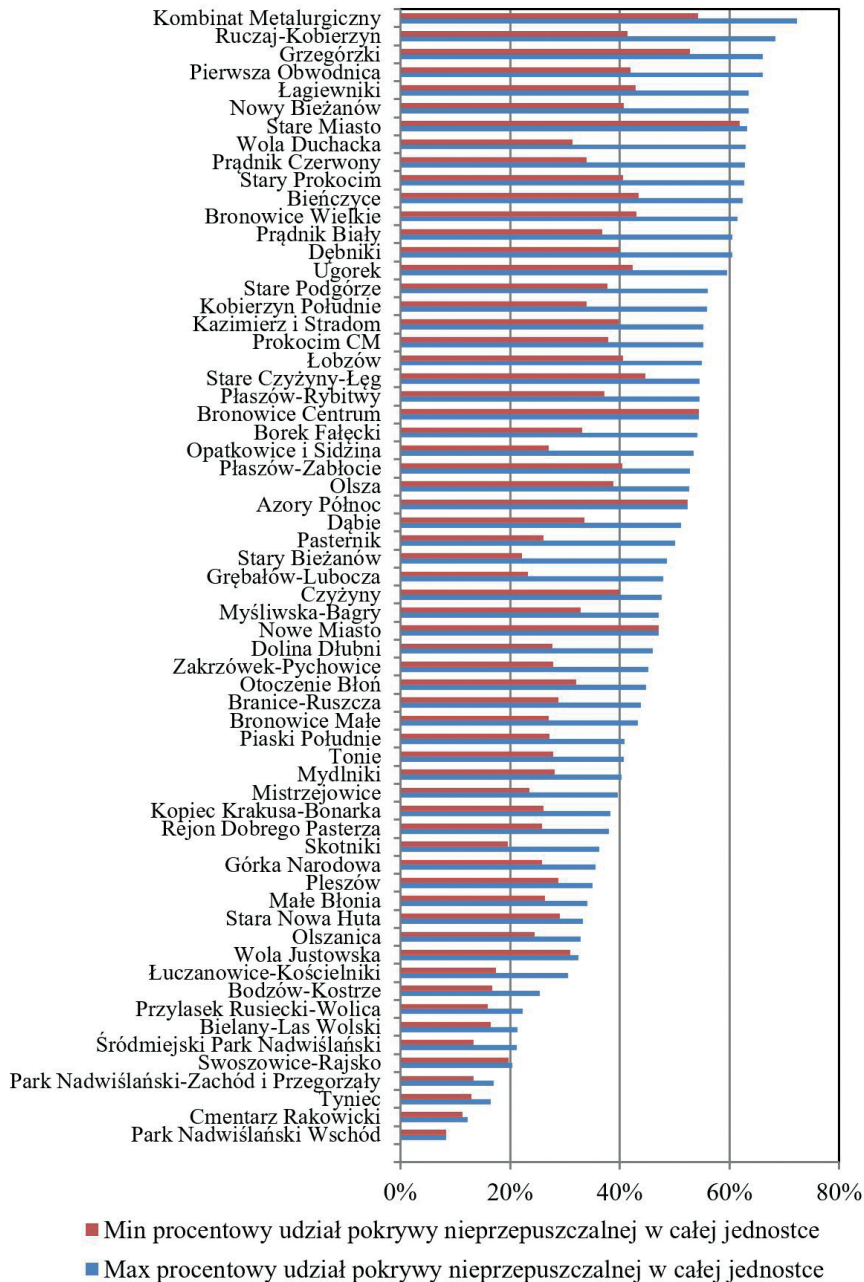
Charakteryzując związany z doliną Wisły układ hipsometryczny, musimy odwołać się do topografii miasta. Na ilustracji 1.30 przedstawiono tę topografię na tle krain geograficznych, a na ilustracji 1.31 powiązaną z nią mapę geomorfologiczną obszaru miasta.

Ilustracje te wskazują jednoznacznie dominujący układ doliny Wisły, która „ściąga” spływ wód opadowych ze zboczy, na których miasto się rozwinęło (zgodnie z il. 1.30). Struktura geomorfologiczna obszaru Krakowa (il. 1.31) wskazuje jednoznacznie, że równiny poziomu zalewowego i terasy nadzalewowej to znacznej wielkości tereny miasta, podatne na zagrożenia powodziowe zarówno od strony Wisły, jak i jej głównych lewo- i prawostronnych dopływów. W zasięgu terasy nadzalewowej Wisły wyraźnie widoczne są starorzecza tej rzeki, dokumentujące dawne koryto wielkiej wody.

Tym uwarunkowaniom geograficznym towarzyszą zmieniające się w czasie uwarunkowania klimatyczne, temperatura powietrza i opady.

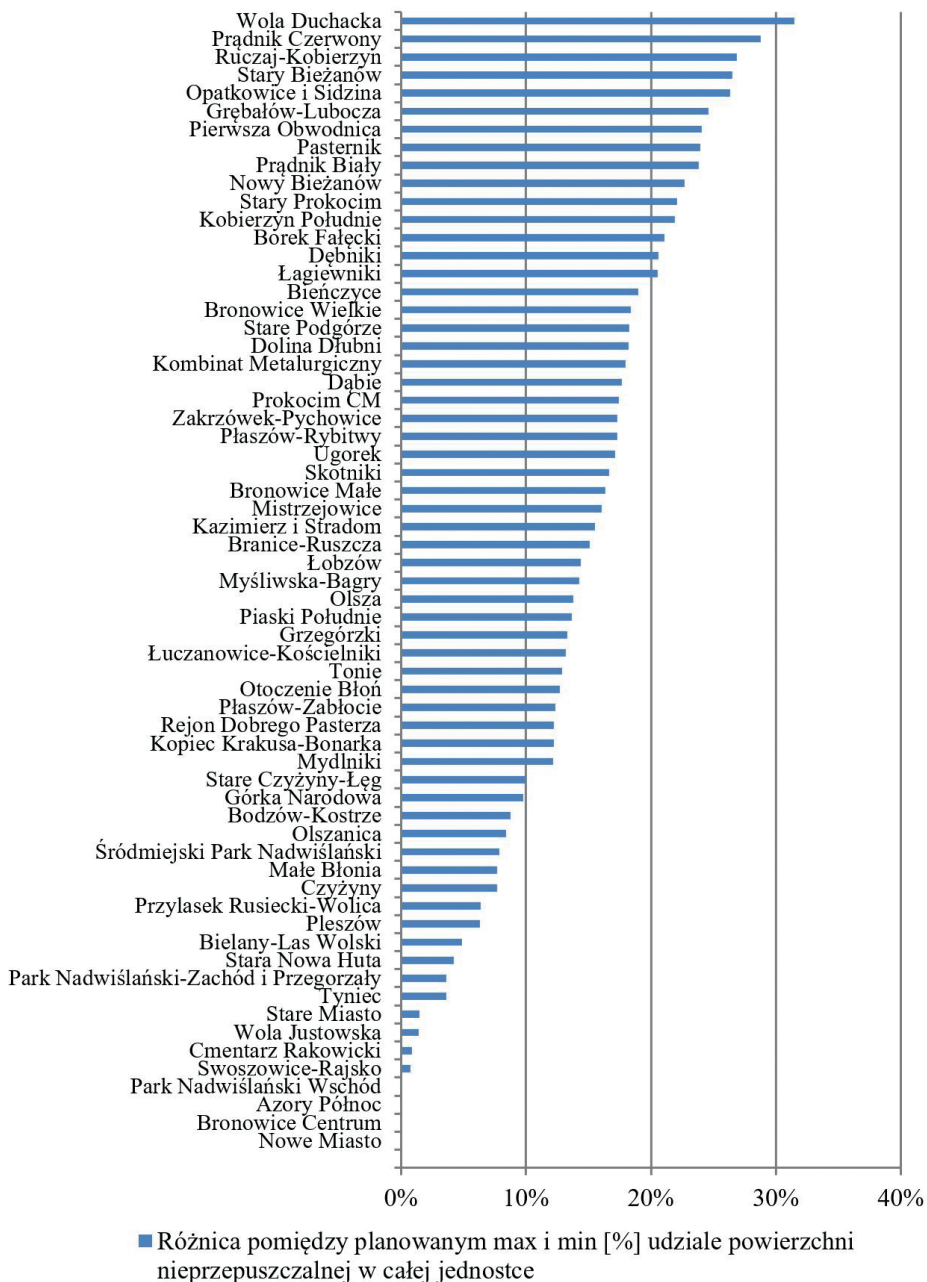
Biorąc pod uwagę zanieczyszczenie powietrza, związane z rozwojem miasta w jego układzie hipsometrycznym, mamy do czynienia ze sprzyjającymi warunkami kondensacji opadów. Dodatkowo, rozwój miasta, utrudniający naturalne jego przewietrzanie w kierunku południowo-północnym, wzmacnia występowanie lokalnych gwałtownych (nawałnych) opadów, zwiększających zagrożenie powodziowe zarówno bezpośrednio ze strony tych opadów, jak też ich odpływu rzecznego.

**Planowany max i min (%) udział powierzchni uszczelnionej
w poszczególnych jednostkach urbanistycznych**

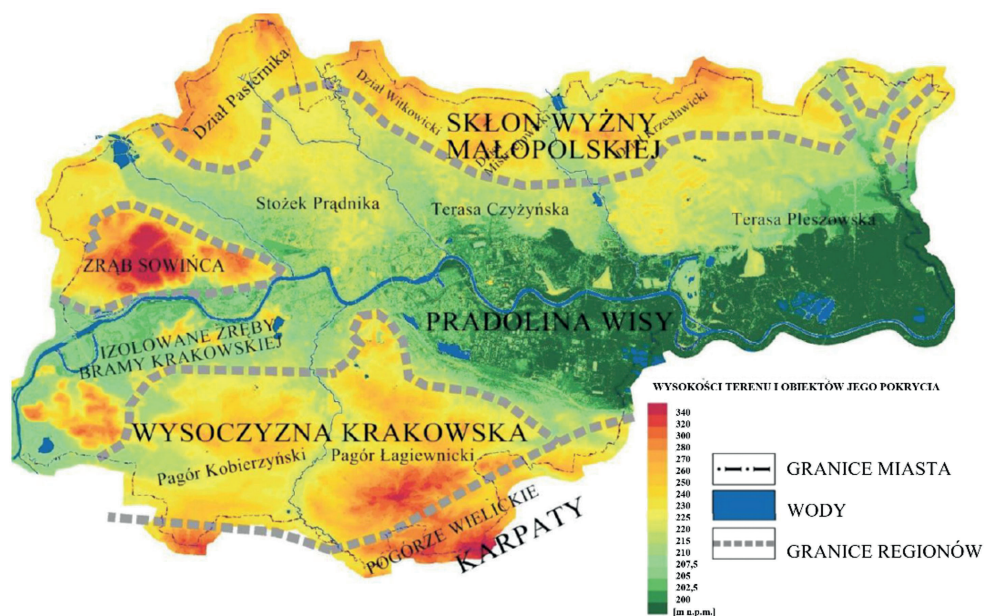


II. 1.28. Oczekiwana (min.) i dopuszczona (max.) wartość uszczelnienia powierzchni terenu w planach rozwoju Krakowa. Według [47]

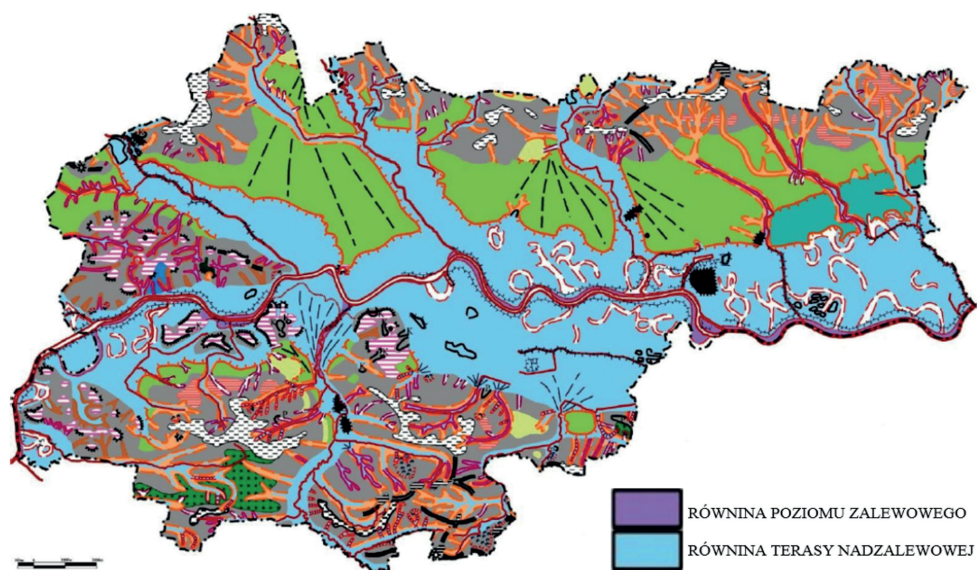
Różnica pomiędzy planowanym max i min [%] udziałem powierzchni nieprzepuszczalnej w całej jednostce



II. 1.29. Możliwy (dopuszczony) wzrost wartości uszczelnienia powierzchni terenu w stosunku do wartości oczekiwanej w planach rozwoju Krakowa. Według [47]



II. 1.30. Układ głównych jednostek morfostrukturalnych Krakowa na tle rzeźby terenu i obiektów jego pokrycia przedstawiony metodą hipsometryczną. Według [72]



II. 1.31. Mapa geomorfologiczna Krakowa. Kolorem niebieskim oznaczono równinę terasy nadzalewowej, położoną ponad równiną zalewową przykorytową, w tej skali „zlewającą się” prawie z linią rzek; to dwie równiny najbardziej narażone na zagrożenie powodziowe. Według [72]

1.4. SKUTKI POWODZI

1.4.1. KATEGORIE I WIELKOŚĆ SKUTKÓW POWODZIOWYCH

Skutki powodzi, należące do kategorii Impact w analizie DPSIR (zgodnie z il. 1.7), mierzone są:

- 1) utratą zdrowia i życia ludzi;
- 2) bezpośrednimi szkodami materialnymi w majątku zniszczonym lub uszkodzonym; w wykazach tych szkód uwzględniany jest majątek publiczny i prywatny, z wyjątkiem osobistego majątku ruchomego;
- 3) finansowym wymiarem szkód bezpośrednich, znanym pod pojęciem strat powodziowych (bezpośrednich);
- 4) stratami pośrednimi, które w wymiarze materialnym i niematerialnym liczone są na ogół w okresie do pięciu lat po danej powodzi; są one wynikiem przerwania ciągłości funkcji społecznych i gospodarczych, co skutkuje przerwaniem ciągłości usług społecznych i dostaw przemysłowych (gospodarczych).

Straty pośrednie obejmują następujące kategorie [22, 36]:

- straty w produkcji i w zysku z produkcji przemysłowej (także bankructwa), wynikające z braków w dostawie prądu, braku realizacji usług i innych zdarzeń wynikających z utrudnień komunikacyjnych, a także z bezpośrednich strat w majątku przedsiębiorstw,
- straty w przyszłej produkcji rolnej roślinnej i zwierzęcej, wynikające ze strat bezpośrednich w tym sektorze, a także z zanieczyszczenia i zamulenia pól, gospodarstw oraz z utraty inwentarza,
- koszty dodatkowe w zakresie usług medycznych, komunikacyjnych, energetycznych, telefonicznych, edukacyjnych i innych, niezbędnych do podtrzymania działalności społeczno-gospodarczej w okresie odbudowy,
- straty w dochodach indywidualnych (zarobki i korzyści pozamaterialne), w dochodach z turystyki, a także związane ze zmniejszeniem podaży i usług, wzrostem kosztów podróży, wzrostem kosztów usług społecznych i medycznych,
- ponadto należy tutaj zaliczyć straty niematerialne, takie jak: utrudnienia w transporcie i komunikacji, zwiększenie wrażliwości psychicznej, utrata poczucia bezpieczeństwa, niedobór dóbr konsumpcyjnych.

Analizując wielkość szkód i strat powodziowych, dochodzimy do wniosku, że straty występujące w Polsce są bardzo wysokie, ale relatywnie niskie w porównaniu do największych powodzi w skali globalnej. Wynika to z faktu, że Wisła i Odra należą do mniejszych, zarówno co do wielkości ich dorzeczy, jak i wartości największych przepływów. Niezależnie od tego, powodzie nawiedzające Polskę są notowane już od wczesnego średniowiecza. Biorąc pod uwagę złożoną historię naszej państwowości, bardzo trudno dokonywać porównań wartości strat w majątku w okresie historycznym. Ofiary śmiertelne, jakie wystąpiły w ciągu ostatnich 100 lat, liczone są

w dziesiątkach. W porównaniu z krajami o bardzo wysokiej gęstości zaludnienia w rejonie największych rzek (zwłaszcza w Azji) stanowi to niewielką wartość. Przykładowo, za stroną <https://www.emdat.be>:

- 1911 r., wylała chińska rzeka Jangcy, zginęło ok. 100 tys. osób,
- 1950 r., powódź rzeczna pochłonęła 2900 ofiar śmiertelnych,
- 1953 r., w lutym wystąpiło spiętrzenie poziomu morza i wywołane nim cofki (także rzeczne) w Holandii, śmierć poniosło blisko 2000 osób,
- 1953 r., spiętrzenie poziomu morza i wywołane nim cofki we wschodniej Anglii spowodowały śmierć 300 osób,
- w latach 1987-1988 powódzie w Indiach, w prowincjach Assam, Bihar i zachodni Bengal, pochłonęły 1450 ofiar śmiertelnych,
- 1991 r., lipcowa powódź w Chinach, określana jako „powódź XX w.,” 1729 ofiar śmiertelnych,
- 1991 r., w Rumunii, w powodzi rzecznej powiązanej z przerwaniem zapory zbiornika retencyjnego, zginęło 108 osób,
- 1993 r., w Federacji Rosyjskiej, w powodzi rzecznej powiązanej z przerwaniem zapory zbiornika retencyjnego, zginęło 125 osób,
- 2004 r., w Bangladeszu powódź rzeczna, związana z osunięciami gruntu i awarią zapory zbiornika retencyjnego, pochłonęła 750 ofiar śmiertelnych
- podobnie w 2005 r. w Indiach powódzie rzeczne, powiązane z przerwaniem zapory zbiornika, spowodowały śmierć 1200 osób,
- 2007 r., w Korei Północnej powódzie rzeczne pochłonęły 610 ofiar śmiertelnych,
- 2014 r., w Serbii w powodziach rzecznych zginęło 51 osób.

Skutki społeczne i ekonomiczne powodzi są trudne do dokładnej oceny i interpretacji ze względu na:

- 1) brak systematycznej bazy informacyjnej w okresie historycznym; posługujemy się wybiórczymi danymi, a częściowe i pełne dane systematyczne są gromadzone odpowiednio od 1997 r. (wielka powódź w skali europejskiej) oraz od 2007 r. (wprowadzenie Dyrektywy Powodziowej poprzedzone analizami ilościowymi);
- 2) konieczność uwzględnienia aktualizacji poziomu cen na podstawie inflacji, różnej w różnych regionach świata.

W tej sytuacji, korzystając z kompleksowego opracowania *Klimat ryzyka*, zamówionego przez Polską Izbę Ubezpieczeń i wykonanego przez firmę Deloitte w 2018 r. [31], w tabeli 1.6 przedstawiono koszty największych powodzi w skali globalnej w latach 1997-2017, przy uwzględnieniu aktualizacji cen do poziomu z 2018 r.

Tabela ta pokazuje nie tylko ogrom strat i ich wielki rozrzut wartościowy, ale również fakt, że koszty tych strat ponosimy w większości my – społeczności i obywatele. Tylko niewielka część tych strat jest ubezpieczona i obciąża Produkt Krajowy Brutto (PKB), czyli stanowi koszt w bilansie państwa wypłacającego środki pomocowe i odbudowującego infrastrukturę.

Tabela 1.6

Skutki (straty bezpośrednie) największych powodzi w skali globalnej w latach 1997-2017
(kwoty znormalizowane do poziomu cen z 2018 r.) (wg [31])

Region, rok, źródło powodzi	Koszt strat powodziowych (mld dolarów)		
	Straty nieubezpieczone	Straty ubezpieczone	Straty łączne
Europa, 1997, powódź letnia	10,7	1,4	12,1
Pakistan, 2010, powódzie i osuwiska	12,1	0,13	12,23
Tajlandia, 2011, powódzie i osuwiska	41,3	15,4	56,7
Chiny, 2016, powódzie	24,5	0,6	25,1
USA/Karaiby, 2017, huragany, które spowodowały powódzie	221,0	89,0	310,0

Warto zwrócić uwagę, że nawet w Europie udział ubezpieczeń przeciwpowodziowych w 1997 r. stanowił niewiele ponad 10% sumy strat. Porównując to ze stratami w Stanach Zjednoczonych w 2017 r., jest to wielokrotnie niższa wartość, nie mówiąc już o gigantycznej różnicy w liczbach bezwzględnych.

Bardziej szczegółowo do podstaw szacowania strat powodziowych odniesiono się w rozdziale 4.

1.4.2. SKUTKI POWODZIOWE W DORZECZU GÓRNEJ WISŁY

Dorzecze górnej Wisły charakteryzuje największe zagrożenie powodziowe. Okresowo dorównuje mu dorzecze górnej i środkowej Odry. To te dwa dorzecza są źródłem największych powodzi w naszym kraju.

Dorzecze górnej Wisły zajmuje powierzchnię 51 515 km², w tym 48 036 km² w Polsce. Charakteryzując krótko dorzecze górnej Wisły na tle kraju, należy podać następujące liczby, które decydują o poważnym zagrożeniu powodziowym:

- powierzchnia dorzecza na obszarze Polski stanowi zaledwie 15,4% całkowitej powierzchni kraju,
- zamieszkująca dorzecze ludność stanowi 22,2% ogółu ludności Polski,
- roczny opad wynosi 16% opadu na obszarze kraju,
- roczny odpływ z dorzecza stanowi 24% odpływu z obszaru kraju.

Warunki geograficzne, geologiczne i klimatyczne decydują, że odpływ z obszaru dorzecza górnej Wisły jest o 50% wyższy, niż wynika to z procentowego udziału powierzchni tego obszaru i opadu rocznego w skali kraju. Dorzecze górnej Wisły to przede wszystkim obszar górski i podgórski z gęstą siecią rzeczną. Jego areał kształtują odpowiednio: Karpaty w 45%, kotliny południowe w 30% oraz wyżyny w 25% całkowitej powierzchni.

Największa powódź okresu międzywojennego w Polsce wystąpiła w dniach 13-17 lipca 1934 r. i objęła swym zasięgiem dorzecze Wisły (pamiętamy, że granice kraju



Il. 1.32. Podmyte brzegi rzeki i zniszczona zabudowa przybrzeżna w powiecie żywieckim na skutek powodzi w 1997 r.

były inne). Dramatycznie podniósł się poziom wody w górnej części dorzecza Wisły, w zlewniach Dunajca, Raby, Wisłoki i Skawy. 22 lipca fala powodziowa na Wiśle dotarła do Warszawy. Klęska żywiołowa objęła zatem południe kraju i środkowy bieg Wisły (1260 km²), pozbawiając życia blisko 100 osób oraz niszcząc ponad 22 tys. budynków, 78 mostów i 167 km dróg. Bez dachu nad głową zostało ponad 60 tys. ludzi. Straty materialne oszacowano na ok. 60 mln złotych (12 mln dolarów). Wyciągając wnioski z tej tragedii, zbudowano w następnych latach zbiorniki retencyjne na Sole w Porąbce i na Dunajcu w Rożnowie.

Ostatnia, największa powódź w XX w. – w lipcu 1997 r. – która pochłonęła ponad 40 ofiar śmiertelnych, była znacznie bardziej dotkliwa w dorzeczu Odry, ale szkody i straty w dorzeczu górnej Wisły były również wysokie i najbardziej dotknęły województwo małopolskie. Na ilustracjach 1.32 i 1.33 pokazano przykładowe szkody powodziowe w Małopolsce, pochodzące z obszaru zlewni Soły [14], które wystąpiły w 1997 r. w zabudowie przybrzeżnej i w infrastrukturze drogowo-kolejowej. Ogromna utrata majątku, w tym tysiące mostów, spowodowała, że w ciągu kilku lat wprowadzono istotne zmiany w przepisach dotyczących projektowania konstrukcji mostów, a zwłaszcza takiego zabezpieczenia ich światła, aby nie dopuścić do zniszczenia konstrukcji przy znacznie wyższych przepływach niż poprzednio (zob. il. 1.33). Wprowadzono także strefy zagrożenia powodziowego i dokonano pierwszych zmian w planowaniu przestrzennym w celu ograniczenia zabudowy brzegowej rzek (zob. il. 1.32).



Il. 1.33. Podmyty brzeg rzeki Soły i zniszczony most kolejowy w Milówce na skutek powodzi w 1997 r.

W XXI w., począwszy od 2001 r., w kolejnych latach występowało poważne zagrożenie powodziowe w dorzeczu górnej Wisły. Największa powódź wystąpiła w 2010 r. Najbardziej znane z tego okresu jest zniszczenie Sandomierza wskutek przerwania wału przeciwpowodziowego (il. 1.34).

Reasumując, bezpośrednie straty powodziowe w okresie dziesięciu lat (2001-2010) zostały oszacowane na ok. **8,780 mld zł** i objęły następujące kategorie szkód [54]:

- infrastruktura komunalna w administracji gmin, obejmująca uszkodzenia: budynków użyteczności publicznej i mieszkalnych, infrastruktury technicznej wodno-kanalizacyjnej oraz drogowo-mostowej,
- infrastruktura w administracji powiatów (zwłaszcza drogi i mosty powiatowe),
- infrastruktura w administracji województw (zwłaszcza drogi i mosty wojewódzkie),
- infrastruktura techniczna w administracji regionalnych zarządów gospodarki wodnej (RZGW) i wojewódzkich zarządów melioracji i urzędów wodnych (WZMiUW).

Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że z uwagi na brak obowiązujących standardów szacowania i weryfikacji strat powodziowych, straty bezpośrednie w latach 2001-2010 zostały niedoszacowane w następującym zakresie [54]:

- w mieniu publicznym, o czym świadczy brak wielu pozycji i wartości liczbowych w zakresie szkód składowych,

- w specyfikacji szkód i strat w nieruchomościach innych niż publiczne, w rolniczej produkcji roślinnej i zwierzęcej, w majątku trwałym i mieniu przedsiębiorstw oraz innych pozycjach, uznawanych w wielu krajach,
- w infrastrukturze drogowej krajowej,
- w zakresie kosztów akcji przeciwpowodziowej, której znaczną wartość udokumentowała między innymi straż pożarna w kategoriach użytych środków (w tym potencjału ludzkiego) oraz czasu trwania akcji.

W tej sytuacji należy przyjąć, że wartość bezpośrednich strat powodziowych jest wyższa od podanej o co najmniej o 10-15%, czyli sięga poziomu ok. **9,7-10,1 mld zł**.

Dołączając do tej wartości straty pośrednie [54], szacowane na wartość **1,94-4,04 mld zł**, uzyskujemy realną wartość **całkowitych strat powodziowych za lata 2001-2010 w wysokości zawartej w granicach od 10,72 mld zł do 14,14 mld zł**.



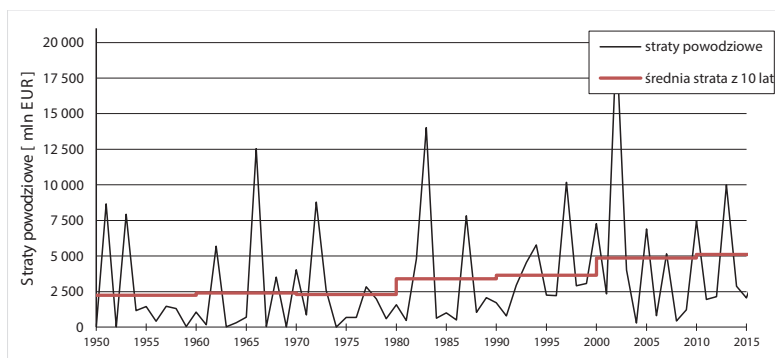
Il. 1.34. Widok pokrytego wodą Sandomierza w 2010 r. Źródło: [32]

2. OCHRONA PRZED POWODZIĄ I OGRANICZENIE ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Do końca XX w., a nawet jeszcze w pierwszej dekadzie XXI w., przed pełnym wdrożeniem Dyrektywy Powodziowej [20], za podstawę walki z powodzią uznawało się środki ochrony przed powodzią ograniczające jej skutki. Są one znane jako środki ochrony przed powodzią (ang. *flood control measures* [35]) i obejmują interwencję techniczną w celu ograniczenia negatywnego skutku zdarzenia powodziowego. Jest to kategoria działań inwestycyjnych, czyli infrastruktura przeciwpowodziowa, dostosowywana do jednego z dwóch rodzajów oddziaływań: ograniczenia/obniżenia wielkości powodzi lub ograniczenia szkód i strat powodziowych.

Koniec lat 90. XX w. to okres krytycznej analizy i oceny dotychczasowego podejścia w kontekście rosnącego wraz z rozwojem zagrożenia powodziowego, niezależnie od wysokości poziomu finansowania, systemu ochrony przed powodzią. Na ilustracji 2.1 przedstawiono wartość strat powodziowych w Europie w latach 1950-2015 (ceny stałe 2011 r.).

Jak wykazano w rozdziale 1.2, wzrost ten jest w pełni uzasadniony, zarówno zwiększeniem liczby ludności i rozwojem gospodarczym (ekonomicznym), jak i szybkim tempem rozwoju urbanizacji. To właśnie te czynniki decydują o „wkraczaniu” społeczności (z ich majątkiem infrastrukturalnym) na obszary zalewowe oraz wroście presji przyspieszającej i zwiększającej sływ powierzchniowy wód opadowych. To procesy, których skutki nasiliły się na przełomie lat 80. i 90. XX w., powodując



Il. 2.1. Wzrost wartości strat powodziowych w Europie w latach 1950-2015. Oprac. własne na podstawie <https://doi.org/10.4121/collection:HANZE>

– w połączeniu z wystąpieniem bardzo wysokich wezbrań powodziowych zarówno w Europie, jak i w krajach pozaeuropejskich – gwałtowny wzrost szkód i strat powodziowych.

Koniec XX w. to jednocześnie, związana z bezprecedensowym przyspieszeniem rozwoju, dyskusja nad wprowadzeniem zasad równoważenia rozwoju, tak aby zapewnić zachowanie dostatecznych zasobów środowiskowych dla przyszłych pokoleń. Jak wiemy, w odniesieniu do wód, prace nad tym zagadnieniem w Europie zakończono wprowadzeniem Ramowej Dyrektywy Wodnej [19]. Trudny i długi proces wdrażania jej ustaleń pociągnął za sobą poważną dyskusję nad miejscem ochrony przed powodzią w systemie gospodarowania wodami, w kontekście koniecznej zmiany podejścia do działań, mających na celu ograniczenie wzrostu zagrożenia powodziowego.

Na tym tle zaprezentowano poniżej ewolucję zmiany podejścia do ochrony przed powodzią i – szerzej – do zastosowania holistycznej analizy w ograniczaniu wzrostu zagrożenia powodziowego. Jest to proces, w którym środki ochrony przed powodzią, ograniczające jej skutki, stają się jednym z elementów walki z powodzią – obok wprowadzania zasad ograniczających wzrost presji związanych z przyczynami powodzi.

Procesowi temu towarzyszy rozwój długoterminowej strategii, zwłaszcza planistycznej, z podziałem na sześcioletnie okresy rozliczeniowe. Celem tej okresowej weryfikacji planów rozwoju systemu ograniczenia zagrożenia powodziowego jest rozwój metodyczny i analityczny, ale przede wszystkim integracja działań w warunkach rozwoju społeczno-ekonomicznego.

2.1. ŚRODKI OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ

Jak już wspomniano, przez setki lat skupiano uwagę na środkach ograniczających skutki powodzi. Oznacza to podejście zakładające nieuchronność zdarzeń powodziowych. Oczywiście, we wczesnych wiekach ubiegłego tysiąclecia (czasy lokacji



Il. 2.2. Kolorowy drzeworyt (1493) przedstawiający Kraków na wzgórzu (Cracovia) oraz samodzielne wówczas miasta: Kazimierz (Casmirus) i Kleparz (Clepardia). Źródło: [53]

pierwszych miast w Polsce), przy bardzo ograniczonej liczebnie ludności, radzono sobie, nie czekając na skutki powodzi. Przykładem jest wzgórze wawelskie w Krakowie, które zlokalizowano na wzniesieniu, zabezpieczając tym samym przed zagrożeniem wezbraniem Wisły, niezależnie od ich wielkości. Jednak w miarę rozwoju obszarów miejskich, począwszy od przyłączenia podgrodzia po integrację sąsiednich miejscowości, problem stopniowo narastał (zob. il. 2.2).

Środki bezpośredniej ochrony przed powodzią, stanowią pierwszy etap ograniczenia skutków powodzi.

2.1.1. RODZAJE ŚRODKÓW OCHRONY PRZED POWODZIĄ

Środki bezpośredniej ochrony przed powodzią prowadzą do inwestycji, dostosowywanych do jednego z dwóch rodzajów działań:

- 1) ograniczenia/obniżenia wielkości powodzi przez zastosowanie tzw. środków ochrony czynnej, opartych na retencji wód powodziowych w celu obniżenia kulminacji fali wezbraniowej/powodziowej/spływu wód opadowych; jest to infrastruktura przeciwpowodziowa, do której należą:
 - retencja powodziowa zbiornikowa, sterowana (zbiorniki wodne) oraz niesterowana (zbiorniki suche),
 - retencja powodziowa w polderach rzecznych, sterowana i niesterowana,
 - retencja zbiornikowa wód burzowych w miastach,
 - retencja spowalniająca odpływ z obszaru zlewni, zwłaszcza na obszarach górskich i podgórskich;
- 2) ograniczenia skutków powodzi przez zastosowanie tzw. środków ochrony biernej; jest to infrastruktura przeciwpowodziowa, która obejmuje:
 - wały przeciwpowodziowe i bulwary miejskie (mury przeciwpowodziowe), oddzielające ludzi i ich majątek od fali powodziowej,
 - kanały ulgi, których celem jest obniżenie poziomu zwierciadła wody fali powodziowej przez rozdzielenie jej strumienia na dwa odrębne,
 - umocnienia brzegów i zabudowy koryt rzek i potoków w celu ograniczenia szkód i strat w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki (jak na il. 1.32).

Obie te kategorie działań wzajemnie się uzupełniają, chociaż pełnią różne funkcje. Wszystkie działania zastosowane w określonym obszarze dorzecza czy zlewni rzecznej, obejmujące wiele obiektów, zwane jest systemem ochrony, który oparty jest na środkach technicznych (strukturalnych). Wynika to z faktu, że na obecnym etapie rozwoju pojedyncze działania nie przynoszą oczekiwanych rezultatów, a środki te reprezentują kategorię inwestycji technicznych – najczęściej są to budowle i obiekty wodne, w których obiekty ziemne stanowią część konstrukcji.

Na ilustracjach 2.3 i 2.4 pokazano typowy wodny zbiornik retencyjny z rezerwą przeciwpowodziową oraz obwałowanie rzeki chroniące obszar zawała przed skutkami wezbrania powodziowego.



II. 2.3. Zbiornik wodny Solina.

Źródło: <https://pgeo.pl/Nasze-objekty/Elektrownie-wodne/Solina> (dostęp: 9.06.2020)

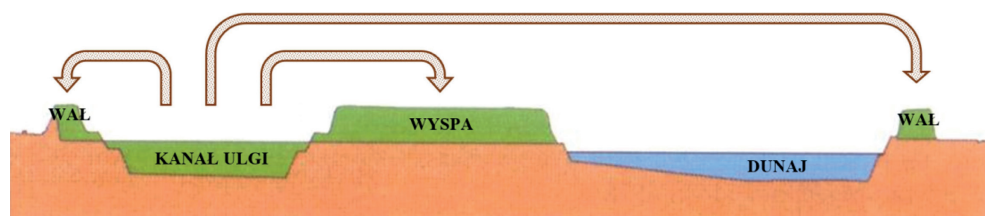


II. 2.4. Wały przeciwpowodziowe w czasie niskiego przepływu i wezbrania. Źródło: <https://www.skanska.pl>; <https://www.mvn.usace.army.mil/LSAC/> (dostęp: 9.06.2020)

Ilustracje 2.5 i 2.6 prezentują dwa inne, mniej typowe rozwiązania, związane z budową kanałów ulgi.

Na ilustracji 2.5 pokazano fragment budowanego w latach 80. XX w. przekopu na obszarze koryta wielkiej wody Dunaju w Wiedniu. To bardzo ciekawe i inspirujące rozwiązanie, które wykorzystало słabo zagospodarowaną część przybrzeżną Wiednia, tak aby dokonać rozdziału strumienia Dunaju na dwie części i pozyskać w centrum miasta wyspę o charakterze rekreacyjnym. Należy dodać, że cały kanał ulgi na Dunaju ma obecnie długość ok. 60 km i stanowi istotną część systemu ochrony przed powodzią.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że wcześniej (XVII-XIX w.) Dunaj w rejonie Wiednia był rzeką wielokorytową o bardzo szerokiej wypłaszczonej dolinie, podobnie jak inne rzeki: Wisła w rejonie Krakowa, Odra w rejonie Wrocławia, a także większość dużych europejskich rzek, nad którymi lokowane były większe miasta. Rozwój osadnictwa i zabudowy wymagał jednak dostępu do rzeki w celu pozyskania terenów pod rozwój, a także jako środka transportu. Aby to osiągnąć, osuszano części doliny i zawężano bieg rzeki, często likwidując jej odnogi.



II. 2.5. Zasady konstrukcji (na górze) i efekt realizacji (na dole) budowy kanału ulgi – przekopu Dunaju w Wiedniu. Źródło: [37]

Realizując ten przekop, wiedeńscy częściowo powrócili do dawnej struktury rzeki, jednak uczynili to w sposób celowy i kontrolowany, posiadając pełną wiedzę na temat efektów obniżenia zwierciadła wielkich wód. Stworzyli tym samym krajobraz doliny Dunaju odpowiadający obecnym wymaganiom estetycznym i funkcjonalnym.

Na ilustracji 2.6 pokazano zbudowany ostatnio w Polsce kanał ulgi Odry w Opolu – jednym z najbardziej poszkodowanych w okresie wielkiej powodzi w 1997 r. miast w Polsce. Kanał ten ma długość 5,2 km – niewiele, ale jest on dostosowany do wielkości miasta, które ochrania. Populacja Opolu nie przekracza 130 tys. mieszkańców, co stanowi zaledwie 17% liczby mieszkańców Krakowa.



II. 2.6. Projekt lokalizacji (na górze) i efekt realizacji (na dole) budowy kanału ulgi, odciążającego przepływ powodziowy Odry w Opolu. Na podstawie materiałów RZGW w Opolu i portalu Polska ORG

W Opolu zachowano, widoczny na prawym brzegu Odry w górnej części ilustracji 2.6, średniowieczny stary kanał, stanowiący część wielokorytowego odcinka Odry, który w XIX w. zabudowano jako żeglowny kanał ulgi z funkcją młyna wodnego (znany jako Kanał Młynówka). Tworzy on z Odrą w centrum miasta wyspę Bolko. Jednak powódź w 1997 r. pokazała, że to rozwiązanie nie jest wystarczające. Ten kanał ulgi został zaprojektowany wstępnie już w drugiej połowie XX w., ale dopiero ta powódź przyspieszyła zakończenie tej inwestycji. Na mapie, na ilustracji 2.6, grubą niebieską linią zaznaczono również zasięg zalewu miasta wodami powodziowymi w 1997 r. Jak widać, cała wyspa Bolko, a także ogromny teren na lewym brzegu Odry (z wyjątkiem niewielkiej wyspy – wysoczyzny) były pokryte wodą.

2.1.2. FUNKCJE ŚRODKÓW OCHRONY PRZED POWODZIĄ

Funkcje i zasady działania środków bezpośredniej ochrony przed powodzią pokazano schematycznie poniżej, tak aby wskazać wyłącznie mechanizm ich oddziaływania na zdarzenie powodziowe, a nie wielkość tego oddziaływania w konkretnym przypadku.

Wybrano w tym celu:

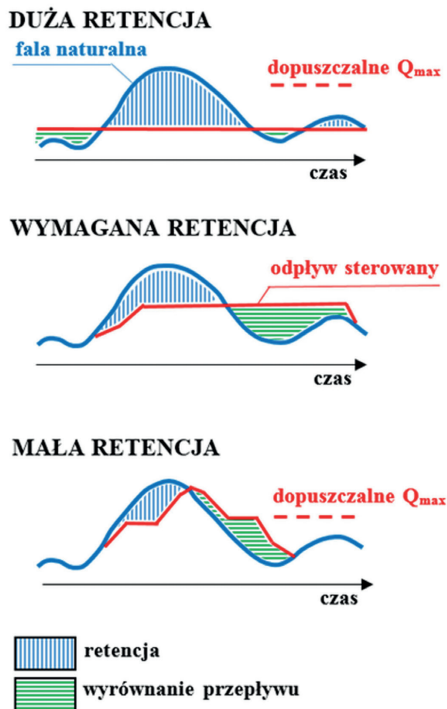
- retencję powodziową;
- retencję zbiornikową (il. 2.7 i 2.8),
- retencję polderową (il. 2.9-2.12);
- zabudowę rzeki wałami przeciwpowodziowymi;
- oddziaływanie wałów na wzrost poziomu zwierciadła wody (il. 2.13),
- konieczność zamknięcia wałami cofkowymi dopływów (il. 2.14).

Ogólnie, podsumowując skuteczność oddziaływania retencji oraz obiektów zmniejszających zakres szkód w czasie wystąpienia zdarzenia powodziowego, można stwierdzić, że:

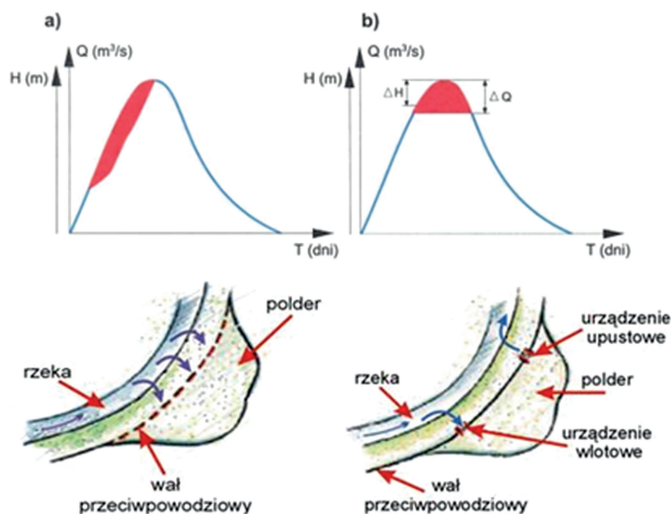
- **skuteczność retencji powodziowej** powinna być oceniana poniżej obiektu tej retencji; skuteczność ta jest zmienna i zależy od stosunku relacji rezerwy powodziowej zbiorników retencyjnych i polderów do objętości fali powodziowej; zawsze



Il. 2.7. Lokalizacja zbiornika retencyjnego



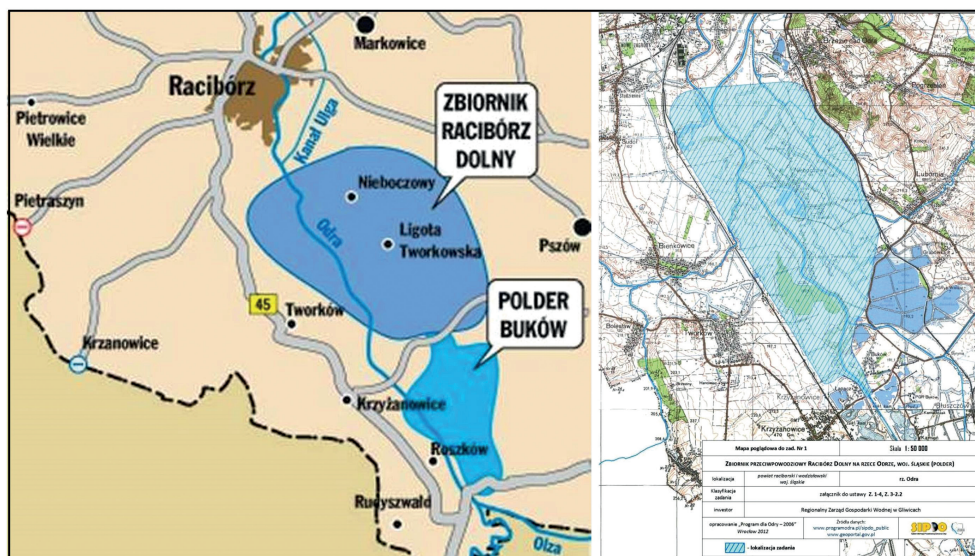
II. 2.8. Możliwe efekty pracy zbiornika retencyjnego w zależności od wielkości rezerwy powodziowej



II. 2.9. Potencjalne efekty pracy polderu: a) niesterowanego; b) sterowanego. Źródło: <http://www.oki.rzgw.gov.pl>; <http://witrynawiejska.org.pl/strona-glowna/edukacja-powodziowa/item/25756-powodzie-co-warto-wiedziec-o-wodnym-zywiolu> (dostęp: 9.06.2020)



II. 2.10. Poldery niesterowane. Źródło: <http://nwrn.eu/measure/floodplain-restoration-and-management> (dostęp: 9.06.2020)



II. 2.11. Lokalizacja sterowanego polderu Buków. Według RZGW w Gliwicach



II. 2.12. Napelniony polder Buków (widok w rejonie jazu). Według RZGW w Gliwicach



II. 2.13. Efekt oddziaływania wałów przeciwpowodziowych na zmianę wysokości zwierciadła wody w rzece



II. 2.14. Wały cokołkowe (tzw. pętla) na dopływach rzeki zabezpieczające teren zagrożony podpiętrzeniem rzeki głównej, powstającym na skutek jej obwałowania

jednak dana wartość retencji powodziowej jest skuteczniejsza w przypadku redukcji kulminacji niższych wezbrań, tracąc swą skuteczność przy wystąpieniu wyższych wezbrań; ponadto sterowanie wykorzystaniem rezerwy powodziowej jest możliwe i skuteczne tylko w przypadku, gdy jej wielkość jest porównywalna z objętością szczytu fali, który zamierzamy zredukować; jeśli tak nie jest, skuteczność retencji powodziowej znacznie maleje, a nawet staje się przypadkowa;

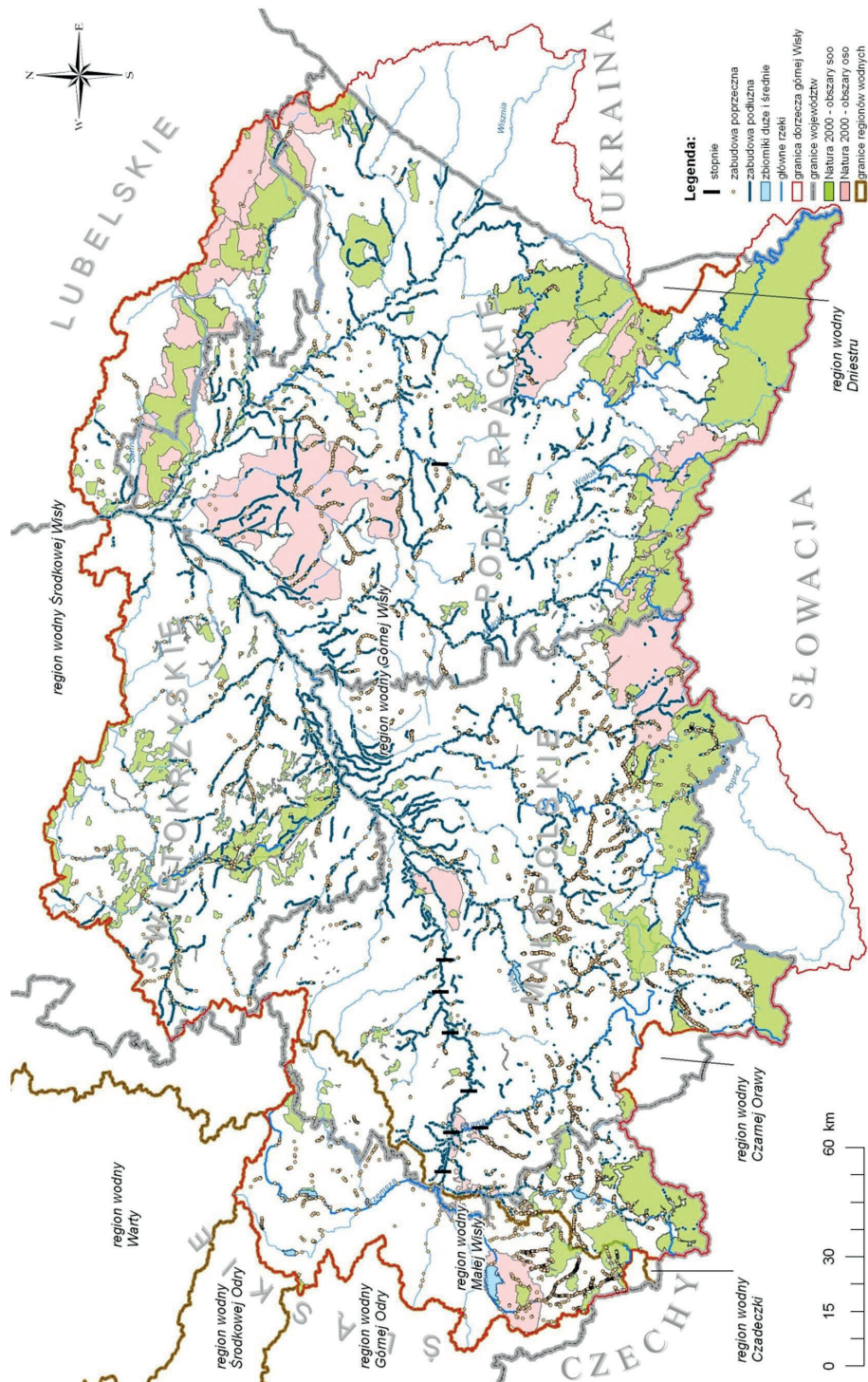
- **skuteczność wałów przeciwpowodziowych** jest oceniana dla nowego koryta wielkiej wody, które one tworzą; w tej sytuacji znaczenie ma:
 - wysokość obwałowań, taka sama po obu stronach rzeki, a także dostosowana do wartości kulminacji fali powodziowej, na którą przewidziano ochronę, wraz z uwzględnieniem bezpiecznego wzniesienia korony obwałowania ponad tę wartość, co wynika z przepisów bezpieczeństwa,
 - umiejętność zamykania „pętlami” obwałowań terenu chronionego (jak na il. 2.14),
 - stan techniczny obwałowań, które są konstrukcjami ziemnymi o wzmocnionym (szczelnym) rdzeniu;
- **skuteczność oddziaływania kanału ulgi** jest uzależniona od parametrów jego przekroju poprzecznego, który „odciąża” przekrój rzeki i przejmuje część przepływu wysokiego, a także od długości samego kanału – im kanał dłuższy i lepiej dostosowany do naturalnej transformacji wezbrania powodziowego, tym bardziej rośnie skuteczność takiego rozwiązania.

2.1.3. ŚRODKI SYSTEMU OCHRONY PRZED POWODZIĄ W DORZECZU GÓRNEJ WISŁY

Dorzecze górnej Wisły obejmuje swym zasięgiem znaczne obszary województw: śląskiego (40% obszaru województwa), małopolskiego (95%), podkarpackiego (100%), świętokrzyskiego (70%) i lubelskiego (20%).

Przykład dorzecza górnej Wisły (i jego krakowskiej części) jest niezwykle dydaktyczny i pouczający z uwagi na bardzo tradycyjny i ograniczony co do zakresu i skuteczności system środków ochrony przed powodzią. System ten tworzą, pokazane na ilustracjach 2.15 i 2.16:

- wały przeciwpowodziowe na Wiśle i jej dopływach oraz bulwary wysokie w śródmiejskiej części Wisły na obszarze Krakowa,
- wielozdaniowe zbiorniki retencyjne z funkcją przeciwpowodziową,
- zabudowa podłużna i poprzeczna rzek oraz potoków, ograniczająca straty powodziowe na przybrzeżnych terenach cieków nieobwałowanych.



II. 2.16. Lokalizacja zabudowy koryt rzek i potoków górskich w dorzeczu górnej Wisły. Według [54]

Oczywiście, że od czasu wielkiej powodzi w 1997 r., a także ostatniej – w 2010 r., sytuacja systematycznie ulega poprawie. Jednak przez ponad sto lat, począwszy od końca XIX w., była ona specyficzna z uwagi na wcześniejszy okres rozbiorów. I tak na przykład:

- w zaborze niemieckim i na terenie Prus sytuacja polityczna była bardzo trudna, ale inwestycje przeciwpowodziowe były realizowane skutecznie, zgodnie z prawem niemieckim,
- w zaborze rosyjskim praktycznie nie realizowano żadnych inwestycji, co jest najbardziej widoczne na przykładzie mostów, których liczba była szokująco mała,
- w zaborze austriackim, który dawał wiele swobody, decyzje inwestycyjne były podejmowane rzadko, a w dodatku dochodziły do tego jeszcze spory koncepcyjne.

Do tego należy dodać jeszcze problem odmiennych, narzuconych przez zaborców przepisów regulujących między innymi miernictwo czy budownictwo (w tym wodne). Te uwarunkowania, po odzyskaniu niepodległości w 1918 r., dodatkowo utrudniły budowę i odbudowę infrastruktury.

Należy jednak podkreślić, że w okresie pierwszych 20 lat niepodległości zrobiono bardzo dużo, pomimo tego, że w 1934 r. wystąpiła jedna z największych powodzi, która przyniosła gigantyczne szkody i straty. Z jednej strony przyczyniła się ona do bardzo szybkiej reakcji i rozwoju infrastruktury przeciwpowodziowej, z drugiej jednak obniżyła potencjał możliwości realizacyjnych, gdyż doszło do niej w czasach poważnego kryzysu ekonomicznego.

To pokazuje, że polskie systemy ochrony przed powodzią wymagały ciągle istotnej modernizacji i rozwoju, jednak dokonywał się on jedynie w bardzo ograniczonym zakresie. Inne, niepodległe państwa europejskie mogły budować swoją największą infrastrukturę wodną, w tym żegludową, na przełomie XIX i XX w.

Wracając do infrastruktury przeciwpowodziowej w dorzeczu górnej Wisły, należy nawiązać do przedstawionego w rozdziale 1 wysokiego zagrożenia powodziowego tego regionu – praktycznie najwyższego w kraju. Jest ono spotęgowane uwarunkowaniami geograficznymi, geologicznymi (flisz karpacki), a także klimatycznymi i – w konsekwencji – hydrologicznymi. Ta specyfika warunków naturalnych, na której nakładają się presje naturalne oraz antropogeniczne, wymaga przede wszystkim środków ograniczających wielkość powodzi, czyli budowy retencji powodziowej. Niestety, w tym zakresie złożona historia Polski przyczyniła się do bardzo ograniczonego inwestowania w retencję powodziową. Dlaczego? Odpowiadając na to pytanie, wymienić należy trzy główne czynniki, które o tym zadecydowały:

- 1) decyzja o budowie wielozadaniowych wodnych zbiorników retencyjnych w ramach nadrabiania zaległości w tym zakresie; zbiorniki wodne to inwestycje bardzo kosztowne i trudne w realizacji; w tej sytuacji ta nieuzasadniona z obecnej perspektywy decyzja, w tamtym okresie wydawała się trafna i słuszna (do dziś zdania na ten temat są podzielone);
- 2) brak w tym regionie tradycji budowy suchych zbiorników na potrzeby gromadzenia wody w okresach wezbraniowych;

- 3) brak w tym regionie tradycji zachowania rzecznych dolin zalewowych w ich układach wielokorytowych (jak np. w dorzeczu Odry), a także tworzenia w ramach regulacji rzek i budowy ich obwałowań przyrzecznych polderów zalewowych, naturalnych lub sterowanych (jak to zrobiono na Odrze), które można by było wykorzystać na retencję części wód wezbraniowych w okresach powodziowych.

W rezultacie zbiorniki retencyjne zlokalizowane w dorzeczu górnej Wisły posiadają łącznie niecałe 420 mln m³ stałej lub sezonowej (zbiornik Rożnów) pojemności powodziowej. Zważywszy na możliwość powiększania na zbiorniku Rożnów na Dunajcu sezonowej rezerwy powodziowej z 50 do 80 mln m³ (zob. tab. 21.), sumaryczna pojemność powodziowa zbiorników sięga blisko 450 mln m³. Jest to liczbowo wartość znacząca, ale jej efektywne wykorzystanie jest utrudnione, co wynika z rozłożenia jej na wiele obiektów w różnych częściach dorzecza, a także z faktu, że efektywność wykorzystania tej rezerwy powodziowej zależy od prawidłowej prognozy dopływu, która na obszarach górskich obciążona jest wysokim błędem ze względu na znaczną czasową zmienność opadów oraz bardzo szybką koncentrację (odpływ) wód opadowych.

Realnie nigdy nie wykorzystuje się całkowitej rezerwy pojedynczych zbiorników w celu obniżenia szczytu fali powodziowej o wartości przepływu maksymalnego do $Q_{1\%}$, co wynika z ograniczonej możliwości sterowania zbiornikami ze względu na trudności w prognozowaniu dopływu, a także niską procentową wartość tych rezerw w stosunku do objętości fali wezbraniowej dopływającej do zbiornika. Stosunek stałych pojemności powodziowych tych zbiorników do kubatury wezbrań powodziowych o kulminacji $< Q_{1\%}$ w przekrojach zaporowych zbiorników sięga zaledwie 10-40% i dlatego skuteczność zbiorników, podobnie jak każdej retencji (także naturalnej), maleje wraz ze wzrostem wezbrania. Wynika to z faktu, że ochrona przeciwpowodziowa nie stanowi kluczowego zadania w żadnym z tych zbiorników. Zostały one zbudowane jako wielozadaniowe, a ich zasadnicze funkcje dotyczą zaopatrzenia w wodę albo produkcji energii. W przypadku tych funkcji wymaga się wysokiego stanu wody w zbiorniku, a w przypadku funkcji przeciwpowodziowej, aby zmieścić dużą część fali wezbraniowej, odwrotnie – niskiego. Mamy wówczas do czynienia z tzw. konfliktem interesów.

W tabeli 2.1 zamieszczono dane dotyczące głównych zbiorników retencyjnych w dorzeczu górnej Wisły.

Przedstawione środki ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły są bardzo tradycyjne i opierają się przede wszystkim na:

1) obwałowaniach przeciwpowodziowych, które rozpoczęto budować od połowy XIX w., dostosowując wzniesienie ich korony do zwierciadła wielkiej wody, zarejestrowanej podczas katastrofalnej powodzi w 1813 r.; teren lewobrzeżny Wisły od Niepołomic do ujścia Sanu obwałowano dopiero po powodzi z 1934 r.; zmodernizowano w tym czasie również wiele odcinków wykonanych wcześniej wałów; w latach 1960-1990 wykonano odcinkowe wały na większości dopływów Wisły, zwłaszcza w ich partiach ujściowych (il. 2.15) [54]; prace te są nadal kontynuowane;

2) zabudowie koryt rzek i potoków, utrzymującej ich stabilność w okresie zagrożenia powodziowego (il. 2.16) [54];

3) opisanej powyżej retencji powodziowej (il. 2.15) [54].

Reasumując rozwój i stan dwóch podstawowych środków ochrony w dorzeczu górnej Wisły, poniżej zestawiono problemy dotyczące elementów tej infrastruktury, które wciąż wymagają rozwiązania.

Tabela 2.1

Główne zbiorniki wodne w dorzeczu górnej Wisły (wg [54])

Rzeka	Nazwa zbiornika	Powierzchnia zlewni [km ²]	Rok oddania do eksploatacji	Stała rezerwa powodziowa/pojemność całkowita [10 ⁶ · m ³]
Mała Wisła	Goczałkowice	523	1956	45,39 / 165,60
Soła	Tresna	1037	1967	39,45 / 94,04
	Porąbka	1091	1936	4,58 / 27,19
Raba	Dobczyce	768	1986	33,87 / 125
Dunajec	Czorsztyn	1125	1996	63,3 / 231,90
	Rożnów	4864	1942	50-80* / 171,30
San	Solina	1189	1968	50 / 473
Skawa	Świnna Poręba	802	2015/2017*	60,06** / 161

* Podstawową funkcją zbiornika Rożnów jest produkcja energii wodnej, ale musi on także zabezpieczać przed powodzią dolinę Dunajca. Dlatego sezonowo tworzona jest na nim retencja powodziowa nie mniejsza niż 50 mln m³, która w razie potrzeby może być zwiększona do wartości 80 mln m³.

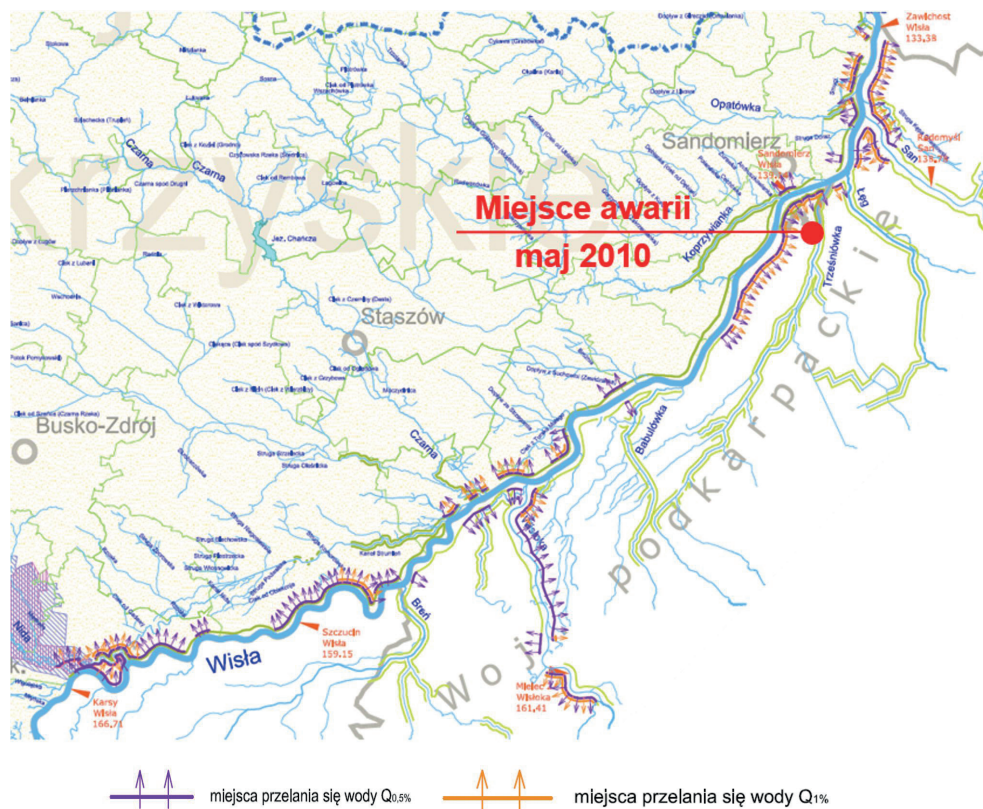
** Zbiornik Świnna Poręba został oficjalnie oddany do użytku w 2015 r., jeszcze przed ukończeniem całości inwestycji. W 2010 r. przejął 61 mln objętości fali powodziowej na Skawie.

Wały przeciwpowodziowe [6, 32]:

- początek budowy wałów od połowy XIX w.; do 1918 r. wybudowano prawie całkowicie prawie wały Wisły powyżej Krakowa oraz poniżej ujścia Przemyszy (zabory austriacki i pruski);
- teren lewobrzeżny poniżej Krakowa obwałowano po powodzi w 1934 r.; zmodernizowano wtedy także wiele odcinków wcześniej wybudowanych wałów;
- przez budowę wałów szerokość koryta wielkiej wody Wisły zmniejszono z ok. 4 km do 1,5-0,7 km;
- poziom technologii i przepisy dotyczące bezpieczeństwa znacznie odbiegały od aktualnych wymagań;
- w latach 1960-1990 wykonano w większości odcinkowe wały na dopływach Wisły, zwłaszcza na odcinkach ujściowych;
- aktualnie łączna długość wałów w obszarze dorzecza górnej Wisły wynosi ok. 2,5 tys. km;

- po dużym wezbraniu w 1997 r. rozpoczęto prace modernizacyjne wałów, nieskoordynowane w skali dorzecza;
- stan techniczny wałów jest nieodpowiedni; przebadano ok. 40% wałów i oceniono, że ponad 30% z nich znajduje się w złym stanie technicznym, a wysokość korony ponad wody wezbraniowe jest bardzo zróżnicowana i niedostosowana do aktualnych wymagań;
- od 2006 r. trwają prace modernizacyjne.

Na ilustracji 2.17 przedstawiono ocenę przepustowości obwałowań na odcinku Wisły powyżej Sandomierza, z zaznaczeniem miejsca awarii w czasie powodzi w 2010 r. (por. il. 1.34).



Il. 2.17. Wisła od wodowskazu Karsy do Zawichostu – wskazano możliwe miejsca przelania się wody przez istniejące obwałowania przeciwpowodziowe i zaznaczono lokalizację awarii w maju 2010 r. Na podstawie [32]

Rezerwa powodziowa wielozadaniowych zbiorników retencyjnych [32]:

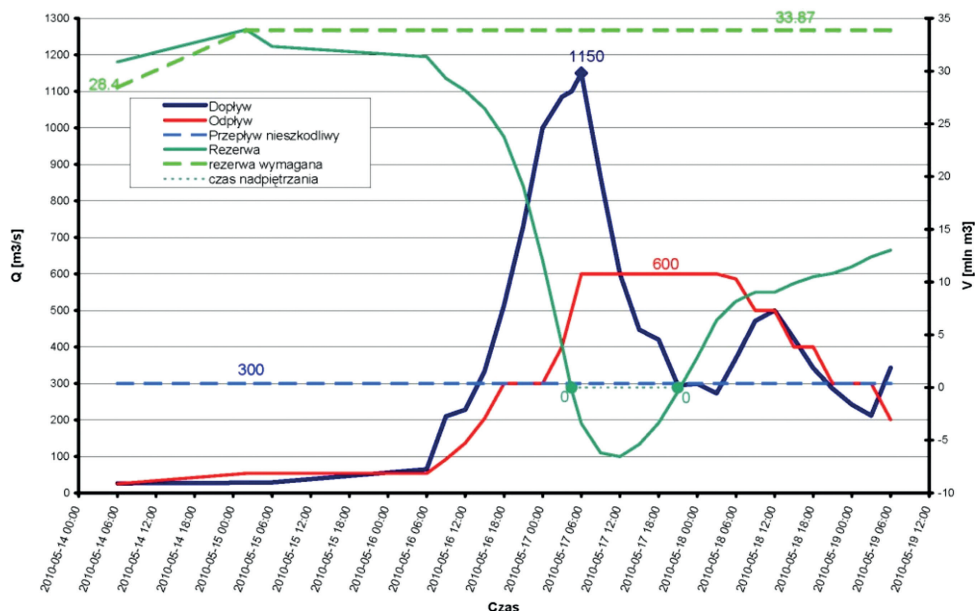
- parametry rezerw powodziowych (stałych i przygotowanych) powinny zostać zweryfikowane ze względu na: a) wymóg nieprzekraczania przepływu dozwolonego

poniżej zbiornika, tak aby nie doprowadzić do poważnej erozji koryta rzeki poniżej zapory; b) z uwagi na zmniejszanie się rezerwy powodziowej w wyniku procesu załadowania zbiorników i obniżenia ich pojemności całkowitej;

- problemy małych i dużych wezbrań w kontekście obowiązujących rezerw powodziowych; znacząco maleje efektywność pracy zbiornika przy dużych wezbraniach;
- istota danych hydrologicznych i prognozy dopływów (Q_{\max} , $V_{\text{wezbr.}}$); im wyższa dokładność danych i prognoz, tym wyższa skuteczność pracy zbiornika oraz odwrotnie (por. il. 2.8);
- rozwiązania techniczne, instrukcje eksploatacji oraz bezpieczeństwo obiektów wymagają przeglądu i weryfikacji w kontekście zachodzących zmian klimatycznych i rosnącego zagospodarowania zlewni zasilających zbiorniki;
- możliwości redukcji Q_{\max} – realna wartość redukcji i, co najważniejsze, jej zasięg oddziaływania; jest to również problem społeczno-ekonomiczny, a nie tylko hydrologiczny;
- presja społeczna na zmiany w sterowaniu retencją powodziową na rzecz rozwoju rekreacji wodnej (różnice w ocenach specjalistów oraz społeczności lokalnej).

Na ilustracji 2.18 przedstawiono wynik sterowania rezerwą powodziową zbiornika wodnego Dobczyce na Rbie w czasie powodzi w maju 2010 r.

Wstępna prognoza nie przewidywała drugiej kulminacji, lecz dopływ bardzo wysokiej pierwszej fali wezbraniowej (fala o kulminacji 1150 m³/s). Próba utrzymania



Il. 2.18. Wynik sterowania rezerwą powodziową zbiornika wodnego Dobczyce w czasie powodzi w maju 2010 r., z przekroczeniem dopuszczalnego poziomu piętrzenia w dniu 17 maja (linia niebieska kropkowana pomiędzy oznaczeniami 0-0). Na podstawie danych RZGW w Krakowie

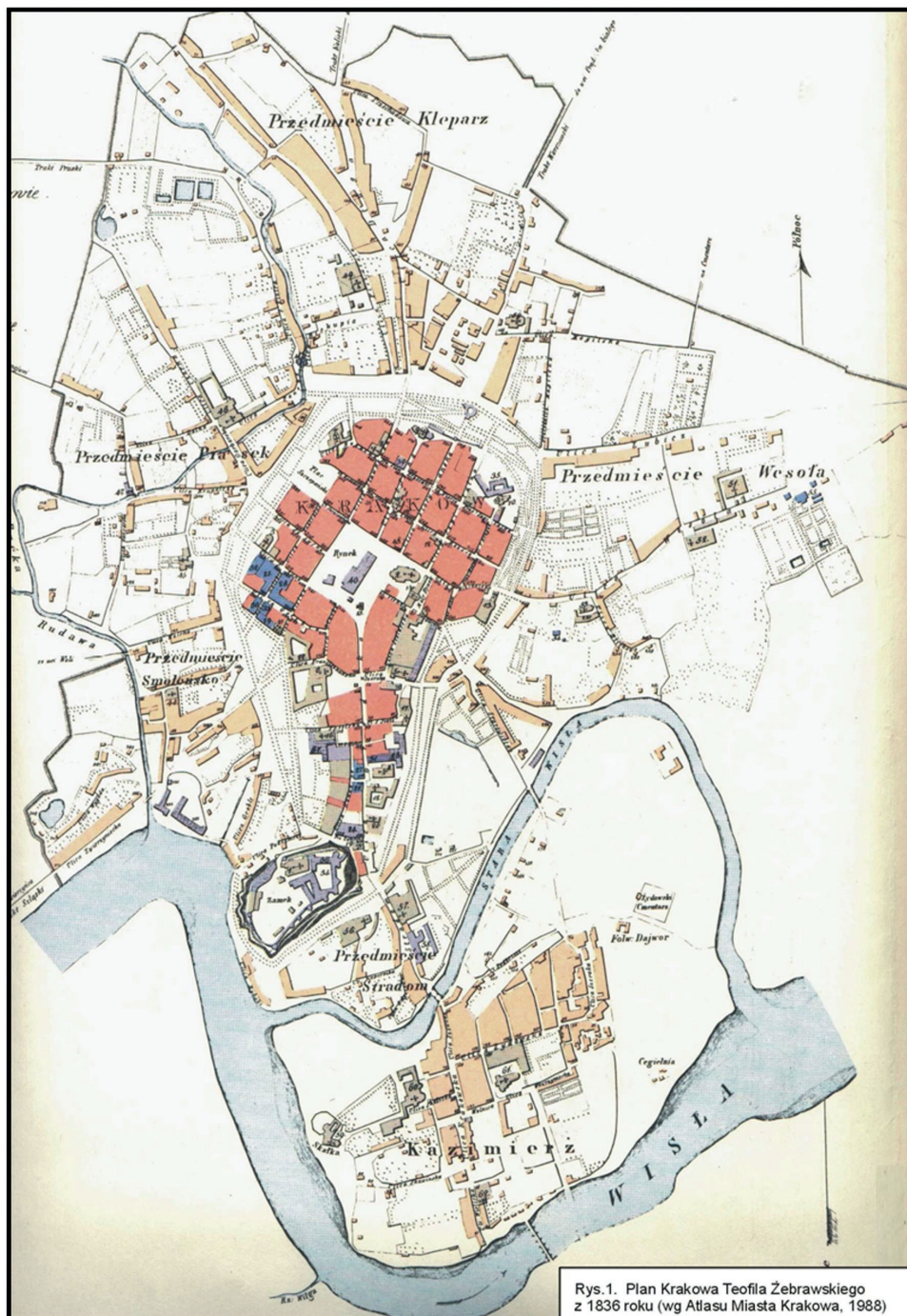
dozwolonego przepływu maksymalnego poniżej zapory (600 m³/s) spowodowała całkowite spracowanie rezerwy powodziowej i konieczność nadpiętrzenia ponad poziom maksymalny w okresie ok. 1 doby. Jest to niebezpieczny manewr, który przy wyższej drugiej fali mógłby nawet doprowadzić do katastrofy. To wszystko pokazuje, że rezerwy powodziowe są w obecnych warunkach hydrologicznych bardzo „napięte”.

ŚRODKI SYSTEMU OCHRONY KRAKOWA PRZED POWODZIĄ

Kraków, mocno doświadczony powodzią w XIX w., rozpoczął na przełomie XIX i XX w. duże inwestycje w zakresie ochrony przed powodzią. Rzeka Wisła została poddana regulacji do pojedynczego strumienia, zasypano odnogi, w tym koryto Starej Wisły (zob. il. 2.19), przeniesiono ujściowy odcinek dużego dopływu Rudawy, skanalizowano Młynówkę Królewską, a w obrębie Starego Miasta wybudowano mury ochronne okalające Wisłę, tworząc bulwary wiślane [30]. Warto podkreślić, że stara odnoga Wisły tworzyła zagrożenie bakteriologiczne ze względu na stojącą wodę (bardzo niskie prędkości przepływu) oraz zarastanie koryta. Ze względu na konieczność ograniczenia tego zagrożenia podjęto decyzję o likwidacji odnogi Wisły. W ciągu tej trasy zbudowano planty dietlowskie. Na przełomie XIX i XX w. rozważano budowę kanału ulgi – przekopu Wisły, częściowo ukierunkowanego na ochronę przed powodzią, ale wchodzącego w skład bardzo ambitnego planu użegłownienia Wisły w systemie Odra – Wisła – Dniestr. W latach 60. i 80. XX w. plany te powróciły w mocno ograniczonym zakresie. W ramach nowej koncepcji rozważano budowę Kanału Krakowskiego. Biorąc pod uwagę intensywny rozwój miasta, w tym infrastruktury technicznej, komunalnej i transportowej, po wielu latach funkcjonalność tej inwestycji okazała się niewystarczająca. Należy dodać, że długość planowanego Kanału Krakowskiego wynosi zaledwie 4 km, czyli niewspółmiernie mało w stosunku do tych zrealizowanych na przykład w Opolu (blisko dziesięciokrotnie mniej ludności) czy w Wiedniu (por. il. 2.5 i 2.6).

Na skutek regulacji Wisła w części śródmiejskiej posiada szerokość co najmniej trzykrotnie niższą w stosunku do części położonych wyżej i niżej. Dodatkowo, część śródmiejską Wisły stanowią ostre zakola o bardzo małych promieniach łuku, a koryto jest ograniczone gęstą zabudową miejską i mostowo-drogową. Ma to wpływ na bezpośrednie zagrożenie wylaniem wody na miasto, zniszczenia bulwarów niskich i wysokich, a także konstrukcji mostowych wskutek wzrostu sił działających na te konstrukcje, przy bardzo wysokich i zróżnicowanych w przekroju i na długości rzeki prędkościach przepływu. Również ten czynnik wykazuje tendencje wzrostowe, co zwiększa w sposób ciągły zagrożenie powodziowe miasta.

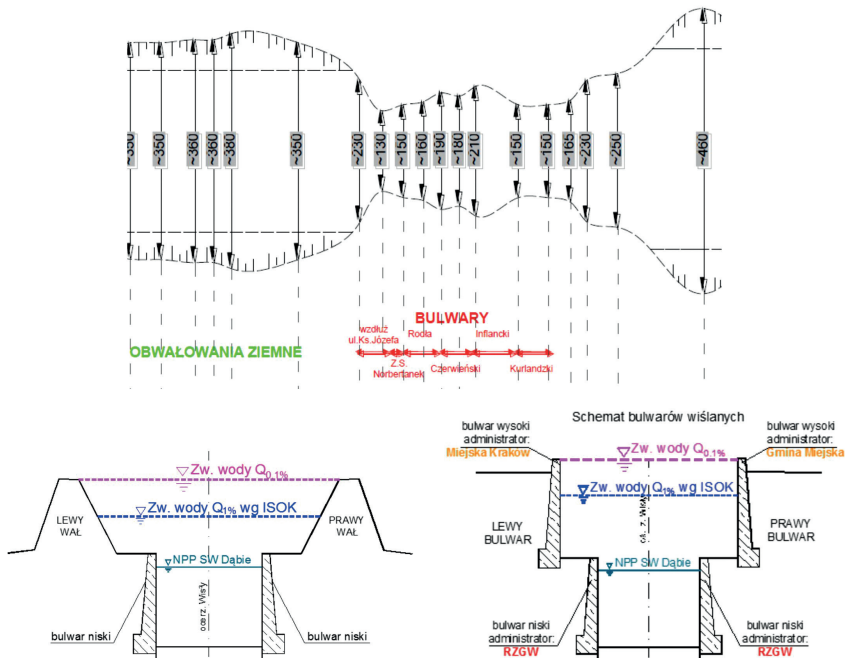
Decyzje podjęte ponad 100 lat temu mają wpływ na sytuację obecną, a przyjęte rozwiązania ochrony miasta przez obwałowania powodziowe (betonowe bulwary w części śródmiejskiej oraz ziemne na pozostałych odcinkach) były i nadal stanowią główne zabezpieczenie miasta.



Il. 2.19. Plan Krakowa z 1836 r. ze starą odnogą Wisły, zwaną Starą Wisłą. Po zasypaniu tej odnogi zbudowano tam planty dietlowskie. Według [3]

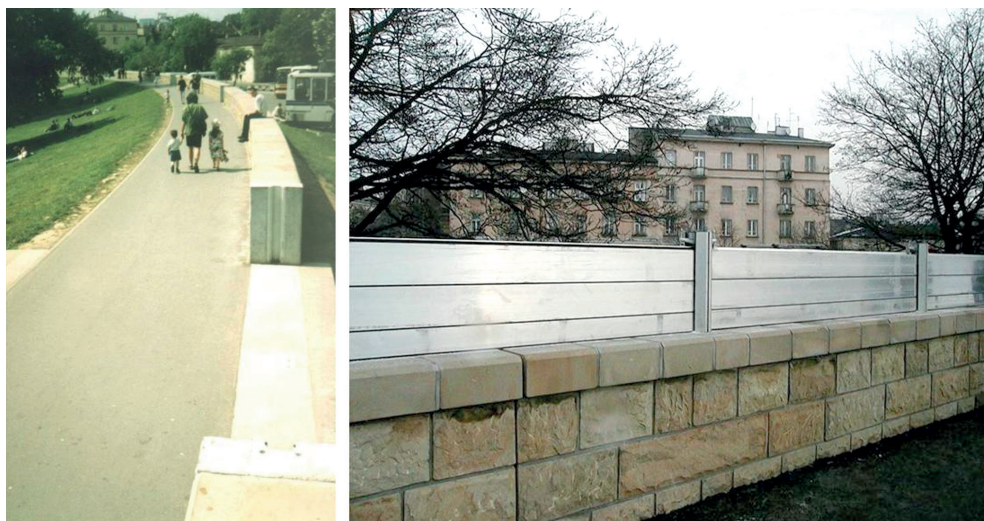
Obecny system ochrony przeciwpowodziowej Krakowa opiera się na obustronnych obwałowaniach Wisły na całym przebiegu rzeki w granicach miasta oraz wałach przeciwpowodziowych na ujściowych odcinkach głównych dopływów, chroniących tereny przyległe przed wpływem cofki, czyli podniesienia się poziomu zwierciadła wody na dopływach Wisły wskutek wezbrania na samej Wiśle. Na odcinku śródmiejskim funkcję wałów przeciwpowodziowych pełnią mury bulwarowe, same objęte ochroną i częściowo wpisane do rejestru zabytków. Jest to najbardziej zawężony odcinek Wisły, co sprzyja wznoszeniu zwierciadła wody przy wysokich przepływach i wzrostowi siły erozyjnej, zagrażającej deformacją dna i bezpieczeństwu murów bulwarowych (il. 2.20). Obwałowania były wielokrotnie modernizowane, a ostatnie znaczące zmiany zostały wprowadzone po powodzi w 1997 r., gdy w obrębie Starego Miasta bulwary zostały podwyższone przez budowę murów oporowych, z możliwością montażu dodatkowych mobilnych przesłon (il. 2.21). Łączna długość obwałowań Wisły i jej dopływów na terenie miasta wynosi ok. 98 km [1, 68].

Ochrona przed powodzią jest realizowana również przez retencję zbiornikową w zlewni powyżej Krakowa (il. 2.22), jednakże jej oddziaływanie jest niewielkie ze względu na dużą odległość od miasta (odpowiednio 35 i 70 km w linii prostej, a mierząc biegi rzek: 65 i 100 km) oraz ograniczoną wielkość stałych rezerw powodziowych, o czym była już mowa (por. tab. 2.1).

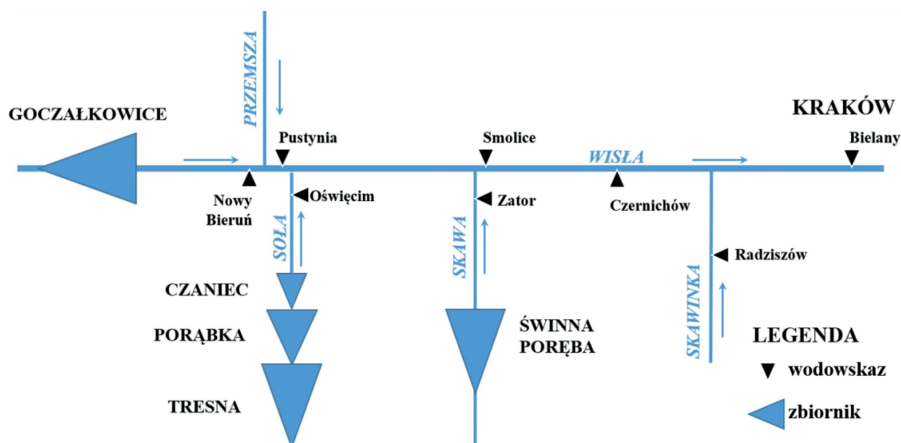


Il. 2.20. Bulwary śródmiejskie Krakowa: schemat ograniczonej szerokości koryta wielkiej wody na długości bulwarów (na górze); typy konstrukcji bulwaru (na dole). Według [1]

Największą wartość retencji powodziowej, która ma realny wpływ na bezpośrednie obniżenie kulminacji fali powodziowej na terenie miasta Krakowa, ma zbiornik wodny Świnna Poręba. Zgodnie z przeprowadzonymi symulacjami, jego powiększona z 24,5 do 60 mln m³ retencja powodziowa obniża kulminację fali stuletniej ($Q_{\max} = Q_{1\%}$) na terenie Krakowa o ok. 300 m³/s, co przekłada się na obniżenie poziomu zwierciadła w granicach 30-60 cm w zależności od lokalizacji.



II. 2.21. Bulwary śródmiejskie w Krakowie zabezpieczone mobilną przesłoną na wypadek wielkiej wody: murek montażowy (po lewej); zamontowana przesłona (po prawej). Fot. Maria Wit



II. 2.22. Duże wodne zbiorniki wielozadaniowe w dorzeczu górnej Wisły z funkcją przeciwpowodziową, których rezerwy powodziowe mają wpływ na kształtowanie się fali wezbraniowej dochodzącej do Krakowa

2.2. ALTERNATYWNE STRATEGIE OCHRONY PRZED POWODZIĄ

W okresie formułowania i wdrażania zasad równoważenia rozwoju, na przełomie XX i XXI w., prowadzono poważną dyskusję poświęconą wpływowi na środowisko technicznych środków bezpośredniej ochrony. Był to jednocześnie okres poprzedzający wprowadzenie Dyrektywy Powodziowej oraz wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW), w którym:

- starano się wprowadzić jednolitą nomenklaturę w ramach krajów Unii Europejskiej, bazującą na wspólnych dokumentach dyrektywnych, metodycznych i technicznych,
- poszukiwano rozwiązań alternatywnych, które spełniłyby wymagania RDW w zakresie ochrony, zachowania lub odbudowy ekosystemów wodnych.

Okres dyskusji, sporów i poszukiwań rozwiązań był czasem przechodzenia od uznawania typowych technicznych rozwiązań ochronnych za jedyne możliwe i skuteczne do współczesnego podejścia zarządczego w zakresie zdarzeń powodziowych, które w wymiarze holistycznym zmierza do ograniczenia zagrożenia powodziowego. Okres ten składał się z dwóch etapów:

- początkowej krytyki środków technicznych i chęci zastąpienia ich innymi środkami o charakterze nietechnicznym,
- późniejszego, racjonalnego powiązania obu rodzajów środków jako niezbędnie uzupełniających się rozwiązań technicznych i nietechnicznych.

Podłożem dyskusji było ścieranie się poglądów zagorzałych zwolenników ciężkich rozwiązań technicznych z obrońcami zasobów środowiskowych. Jednak, jak zawsze, poszukując rozwiązań kompromisowych, dobrze uzasadnionych funkcjonalnie, środowiskowo i ekonomicznie, oparto się na racjonalnym i pragmatycznym podejściu szanującym środowisko i rozwój. W przypadku innego rozwiązania prowadziłyby to do niekończących się dyskusji albo wyników niespełniających oczekiwań żadnej ze stron, ale przede wszystkim do strat społecznych i finansowych.

Tłem dla tej dyskusji było formułowanie strategii postępowania, których podstawą stały się dwa pojęcia, wyprzedzające prawne uregulowania zastosowane w Dyrektywie Powodziowej [20]:

- **mitygacja**, czyli działanie ograniczające skutki negatywnego zdarzenia powodziowego w trakcie i po jego zajściu; dotyczy to ochrony bezpośredniej i odbudowy po powodzi, ale tak, aby przyszłe, następne zdarzenia nie mogły wywołać już tak drastycznych i kosztownych skutków;
- **prewencja**, czyli działanie wyprzedzające, które ma na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia w przyszłości ekstremalnego zagrożenia powodziowego.

Te dwa podejścia w pewnym zakresie bardzo ściśle się ze sobą wiążą, czego przykładem może być źle zaprojektowany most, który uległ zniszczeniu (zob. il. 1.33). Most o zbyt niskim świetle nie tylko uległ zniszczeniu, ale wcześniej, w czasie trwania powodzi, dodatkowo spiętrzył wodę, zalewając większy teren, a jego katastrofa

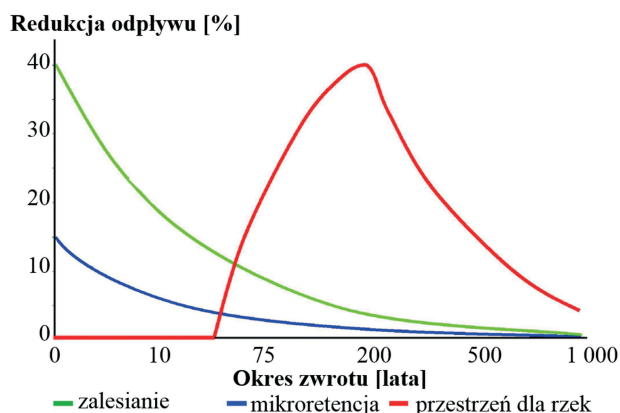
spowodowała znaczne zniszczenia na obszarze przybrzeżnym, potęgując straty powodziowe. Odbudowa mostu, tak aby spełniał on wymagania dla przepływu wielkiej wody, stanowi zarówno mitygację, jak i prewencję.

W tym kontekście pojawiła się nowa nomenklatura, kwalifikująca tzw. środki strukturalne, odpowiadające naszym technicznym środkom ochrony przed powodzią, oraz środki niestrukturalne, czyli inne niż techniczne.

Pojęcie „środki niestrukturalne” oznacza przede wszystkim szeroki pakiet regulacji prawnych, administracyjnych i fiskalnych dla prewencyjnego ograniczenia zagrożenia powodziowego przez niedopuszczenie do niego, czyli na przykład pozostawienie rzece znacznej przestrzeni w zasięgu jej koryta wielkiej wody lub nawet przesiedlenie ludności zamieszkującej najbardziej zagrożone tereny, jeśli mamy do czynienia z niską efektywnością środków ochrony, a których koszt jest bardzo wysoki. Pojęcie to oznacza także działania mieszane, na przykład techniczne z wykorzystaniem zasobów środowiskowych (zmiany kierunku odpływu ze zlewni połączone z retencją roślinno-gruntową czy też retencjonowanie wód opadowych w systemach mieszanych infrastruktury zielonej i zbiorników podziemnych). Podstawą tych działań jest kontrola użytkowania terenu oraz zatrzymywanie wód opadowych w miejscach, gdzie się one pojawiają.

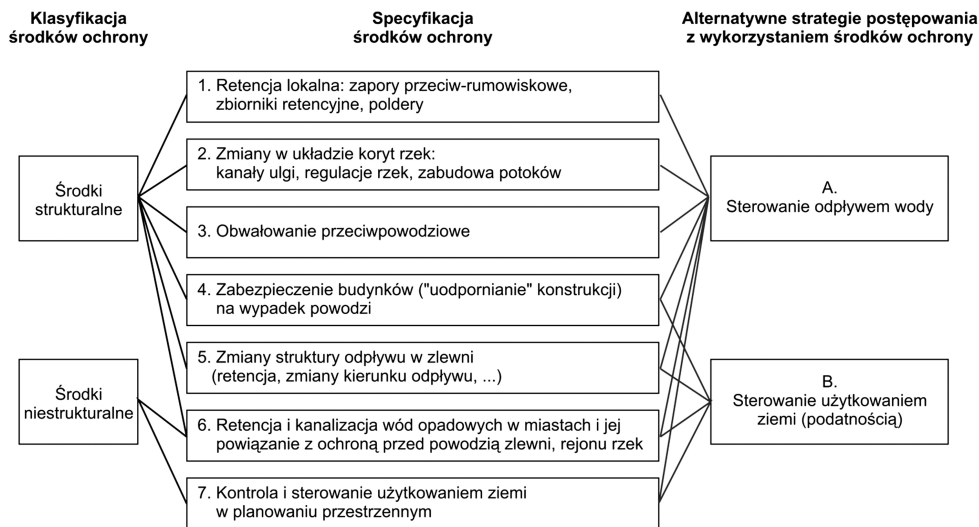
Aby zobrazować skuteczność oddziaływania środków niestrukturalnych w zakresie naturalnej retencji wielkich wód, na ilustracji 2.23 przedstawiono potencjalną redukcję odpływu otrzymywaną dzięki zalesianiu, mikroretencji oraz działaniom tworzącym przestrzeń dla rzek.

Pojęcie „**przestrzeń dla rzeki**” jest traktowane szczególnie, ponieważ jest to termin leżący u podstaw modernizacji systemu ochrony przed powodzią w Holandii pod koniec XX w. Jak widać na ilustracji 2.23, skuteczność tej formy retencji jest nie do przecenienia. Szkoda, że w naszych warunkach jest ona bardzo trudna do realizacji.



II. 2.23. Skuteczność oddziaływania różnych form retencji naturalnej na procentową redukcję kulminacji wezbrań powodziowych. Według [37]

Sformułowano dwie alternatywne strategie postępowania, których schemat zaprezentowano na ilustracji 2.24. Obecnie pojęcia „środki strukturalne” i „środki **techniczne**” są używane równoległe lub zamiennie.



II. 2.24. Podział środków ochrony przed powodzią na techniczne (strukturalne) i nietechniczne (niestukturalne) na tle alternatywnych strategii postępowania z wykorzystaniem tych środków.
Oprac. własne na podstawie dokumentów europejskich

Jak widać na schemacie pokazanym na ilustracji 2.24, sterowanie użytkowaniem ziemi (gruntu) ma niewątpliwie znamiona prewencji, ale stanowi jednocześnie środek bezpośredniej ochrony przed powodzią. Jednocześnie do tej strategii należą środki techniczne (nr 4 i 5 wg schematu), jak też środki nr 6, które są kwalifikowane zarówno jako techniczne, jak i nietechniczne, a także sterowanie użytkowaniem gruntu i jego zabudową (nr 7), które należy do działań nietechnicznych i leży po stronie planowania przestrzennego i obowiązujących uregulowań prawnych oraz ekonomicznych.

Sterowaniu użytkowaniem terenu powinno towarzyszyć, związane z nim bezpośrednio lub pośrednio, sterowanie odpływem wody, czyli odpływem wód burzowych i powodziowych. Dotyczy to przede wszystkim miast i obszarów poddanych silnej urbanizacji, gdzie te dwie strategie są stosowane jednocześnie w celu podniesienia efektywności działań zarówno w zakresie funkcjonalnym, jak i ekonomicznym.

Należy pamiętać, że przytoczone przykłady środków ochrony przed powodzią nie wyczerpują całego wachlarza możliwości, tym bardziej że obecne rozwiązania niejednokrotnie noszą cechy niekonwencjonalnych, a w większości przypadków wiążą różne rodzaje środków i możliwości planistycznych.

2.3. KONCEPCJA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM POWODZIOWYM

Obecne standardy przeciwdziałania zagrożeniu powodziowemu oparte są na nowym podejściu, które wynika z kilku podstawowych przesłanek, powstałych z oceny sytuacji na przełomie XX i XXI w., a mianowicie:

- w żadnych warunkach nie jest możliwe zapewnienie pełnej ochrony przed zagrożeniem powodziowym, co wynika zarówno z braku możliwości technicznych, jak i nieproporcjonalnych do efektów kosztów,
- poprawne gospodarowanie wodami, zgodne z Ramową Dyrektywą Wodną [19], wymaga harmonizacji działań przeciwpowodziowych i działań na rzecz ochrony ekosystemów wodnych,
- brak ujednoliconego oraz spełniającego oczekiwane wymagania poziomu szczegółowości i jakości systemu informacji, w skali regionalnej, krajowej i międzynarodowej, utrudnia nie tylko analizę i ocenę stanu zagrożenia, dobór działań na rzecz jego ograniczenia, ale też wprowadzenie standardów w zakresie: prognoz, systemów ostrzeżeń, bazy metodycznej analiz społeczno-ekonomicznych i wielu innych działań cząstkowych, od których zależy poprawa sytuacji.

Te przesłanki legły u podstaw wypracowania w pierwszej dekadzie XXI w. nowego podejścia, zwanego **zarządzaniem ryzykiem powodziowym** (ang. *flood risk management*), które oparto na [20, 26, 35]:

- zasadzie ciągłości w zarządzaniu i planowaniu,
- holistycznym wymiarze analizy społeczno-ekonomicznej,
- odpowiedzialnej i weryfikowalnej ocenie zagrożenia,
- doborze skutecznych środków ograniczających to zagrożenie.

W tym miejscu należy wyjaśnić różnice pojęciowe pomiędzy zagrożeniem powodziowym i ryzykiem powodziowym, gdyż warunkuje to rozumienie nowego podejścia.

Zagrożenie powodziowe (powodź) (ang. *flood hazard*) oznacza opis zagrożenia powodziowego, który obejmuje cechy fizyczne powodzi na danym obszarze (punkcie), czyli głębokość zalewu i jego zasięg, czas trwania i prędkość przepływu. Czasami zagrożenie powodziowe obejmuje również ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia, ale jest to cecha przynależna do opisu powodzi potencjalnej, a tylko czasami historycznej [35].

Ryzyko powodziowe (ang. *flood risk*) to połączenie prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i potencjalnych negatywnych, związanych z powodzią konsekwencji dla zdrowia i życia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej [20].

Jeśli zatem chcemy w nowym podejściu połączyć oba te pojęcia: zagrożenie powodziowe i ryzyko powodziowe, musimy wyraźnie oddzielić powodzie historyczne i powodzie potencjalne o określonym prawdopodobieństwie występowania.

Tak też przyjęto i dlatego powodzie historyczne, również ze względu na niespójne informacje o ich przyczynach i skutkach, traktuje się jako wiedzę bazową,

kwalifikującą obszary wymagające szczególnej uwagi i analiz. Natomiast jako podstawę zarządzania powodzią przyjęto potencjalne zdarzenia powodziowe o określonym prawdopodobieństwie występowania, tak aby ujednocilić podstawy analizy oraz zasady planowania i weryfikacji podejścia.

2.3.1. NOWE PODEJŚCIE

Nowe podejście zakłada, że poprawnie dobrane, dobrze uzasadnione oraz efektywne społecznie i ekonomicznie rozwiązanie ograniczające zagrożenie powodziowe musi spełniać następujące kryteria:

- wymaga poprawnej i szczegółowej oceny rodzaju i poziomu zagrożenia w układzie wieloskalowym, co najmniej w skali lokalnej i regionalnej,
- musi uwzględniać działania wielokierunkowe, tak aby zachować funkcje ekosystemów wodnych w akceptowalnym zakresie, a jeśli nie, to odstępstwo od tej zasady wymaga uzasadnienia wyższym interesem społecznym i/lub brakiem technicznej i ekonomicznej możliwości realizacji celów ochrony w inny sposób,
- na skutek jego realizacji nie może dojść do transferu, przeniesienia lub wzrostu zagrożenia na terenach sąsiednich, na przykład w niższym odcinku rzeki.

Idea nowego podejścia opiera się na trzech filarach:

- 1) **Wymaganej i odpowiedzialnej informacji**, która obejmuje:
 - bazę danych, system przetwarzania i weryfikacji informacji w wymiarze czasowo-przestrzennym i wykorzystywanej na potrzeby: a) oceny zagrożenia, b) planowania działań, c) budowy koncepcji rozwiązań, d) realizacji zadań, e) oceny efektów,
 - dodatkową bazę informacyjną na poziomie operacyjnym na potrzeby: a) prognoz klimatycznych i hydrologicznych, b) opartego na prognozach systemie ostrzeżeń, c) reagowania w okresie wystąpienia powodzi.
- 2) **Harmonizacji działań w realizacji zadań gospodarowania wodami**, tak aby przedsięwzięcia z zakresu ochrony przed powodzią spełniały wymagania Ramowej Dyrektywy Wodnej [19] i/lub były uzasadnione interesem społecznym w odniesieniu do ochrony życia i zdrowia [19, 20]; współczesna polityka wodna postawiła nowe wymagania dla realizacji zadań gospodarki wodnej, które zostały ukierunkowane na zintegrowane osiągnięcie następujących trzech celów:
 - ochrona ekosystemów wodnych i ekosystemów lądowych z nimi związanych, rozumiana znacznie szerzej niż dotychczas formułowana ochrona zasobów wodnych,
 - uzasadnione wykorzystanie wód w rozwoju społeczno-gospodarczym,
 - przeciwdziałanie skutkom naturalnych zagrożeń, zwłaszcza powodzi i suszy.

Brak tutaj hierarchizacji celów, aby w konkretnych warunkach społeczno-ekonomicznych i środowiskowych dokonywać waloryzacji potrzeb i poszukiwać rozwiązań najbardziej uzasadnionych i możliwych do realizacji technicznie oraz ekonomicznie.



II. 2.25. Schemat matrycy działań w warunkach deficytów ekologicznych i przy ich braku.
Oprac. własne na podstawie zaleceń europejskich

Na ilustracji 2.25 przedstawiono ideę tej harmonizacji w postaci matrycy oddziaływania deficytów ekologicznych na działania w ochronie przed powodzią, zależne od poziomu zagrożenia.

3) Integracji wszystkich elementów, działań zapobiegawczych, ochronnych, osłonowych i pomocowych w trakcie wystąpienia zdarzenia oraz odbudowy po powodzi.

Na tym tle sformułowano podstawy zarządzania ryzykiem powodziowym, a w konsekwencji podstawy dwóch spójnych, współczesnych systemów planowania, podnoszących efektywność ograniczenia zagrożenia powodziowego obecnie oraz jego wzrostu w przyszłości – systemu planowania w zarządzaniu ryzykiem powodziowym i systemu planowania przestrzennego.

2.3.2. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM POWODZIOWYM

Zarządzanie ryzykiem powodziowym [19, 35] ma na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa i/lub wpływu powodzi. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że najbardziej skutecznym podejściem jest podejmowanie działań w ramach programów zarządzania zagrożeniem powodziowym, obejmujących następujące elementy:

- **zapobieganie:** oznacza zapobieganie powstawaniu szkód wywołanych powodzią, zwłaszcza przez rezygnację z budowy domów mieszkalnych i obiektów przemysłowych obecnie i w przyszłości na terenach zagrożonych powodzią, przez dostosowanie obiektów, które powstaną w przyszłości do zagrożenia powodziowego,

oraz przez wspieranie zachowania naturalnej retencji na bazie właściwego zagospodarowania terenu, a także praktyk rolniczych i leśnych;

- **ochrona:** to podejmowanie środków, strukturalnych i niestructuralnych (technicznych i nietechnicznych), w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa występowania powodzi (retencja powodziowa) i/lub skutków powodzi w określonych miejscach (odcięcie ludzi i majątku od zagrożenia);
- **gotowość:** polega na informowaniu ludności o zagrożeniu powodziowym (system ostrzeżeń) oraz o zasadach postępowania w przypadku powodzi;
- **postępowanie awaryjne i reagowanie w czasie zdarzenia:** obejmuje opracowanie planów zabezpieczających działania ograniczające skutki w trakcie zdarzenia (ewakuacja ludności i majątku, lokalne interwencje, działania osłonowe w przypadku katastrof, np. przerwania wałów przeciwpowodziowych, katastrof budowlanych itd.);
- **przywracanie normalnych warunków i wyciąganie wniosków:** polega na powracaniu możliwie najszybciej do normalnych warunków, łagodzeniu skutków społecznych i gospodarczych w przypadku osób dotkniętych powodzią oraz odbudowie zniszczeń.

System ten powinien zapewnić efektywność zarówno funkcjonalną, jak i ekonomiczną na przyjętym i akceptowanym poziomie ochrony! W tym systemie **bezpśrednie środki ochrony przed powodzią pozostają jego integralną częścią i podstawą** ochrony przeciwpowodziowej, jednak ich dobór i uzasadnienie realizacji musi być rozpatrywane w znacznie szerszym kontekście uwarunkowań oraz ocen efektywności funkcjonalnej i ekonomicznej.

2.3.3. INTEGRACJA I UPOWSZECHNIANIE INFORMACJI

Wyjściową i kluczową informacją w planowaniu infrastruktury przeciwpowodziowej oraz innych działań wspomagających jest ocena zagrożenia powodziowego. Doświadczenia krajów europejskich i pozaeuropejskich od wielu lat wskazywały na konieczność wprowadzenia standardu tej oceny. Jak już wspomniano w rozdziale 1, dane o historycznych powodziach są bardzo wartościowe, jeśli chodzi o wskazanie miejsc zagrożonych. Jednak z uwagi na brak spójności oceny ilościowej pochodzącej z różnych okresów czasu, a przede wszystkim brak spójności stanu zagospodarowania i zabudowy w okresach występowania największych powodzi, trudno dokonywać odpowiedzialnej oceny zagrożenia, a na jej podstawie planować strategie postępowania, a także system ochrony.

W tej sytuacji zdecydowano, że ocena zagrożenia powodziowego będzie obejmowała zdarzenia kwalifikowane według hydrologicznego prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Za podstawę w tym zakresie w Dyrektywie Powodziowej uznano zagrożenie wezbraniem stuletnim. Jest to wezbranie, którego wartość przepływu maksymalnego odpowiada prawdopodobieństwu wystąpienia równego 1% ($Q_{\max} = Q_{1\%}$).

Jest to kryterium uznawane powszechnie na świecie jako podstawa oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego, niezależnie od analiz i ocen wykonywanych dla zdarzeń występujących częściej (10%) i rzadziej (0,5%, 0,2% lub 0,1%).

Zarówno ocena zagrożenia powodziowego, jak i bazy informacyjne dla analiz i ocen planistycznych, koncepcyjnych i projektowych, wymagają standaryzacji w jednolitym systemie, tak aby uzyskać wiarygodną informację/daną i aby można było ją przetwarzać na potrzeby efektywnego zarządzania ryzykiem powodziowym (por. il. 2.26).



II. 2.26. Schemat wykorzystania podstawowych baz danych na potrzeby wiarygodnych i użytecznych informacji. Według [31]

Wytworzenie wiarygodnej informacji wymaga, jak zaznaczono na powyższym schemacie, agregacji danych i analiz kierunkowych oraz zadaniowych na ich podstawie. Służą temu obecnie, obok podstawowego systemu bazodanowego, dwa systemy przetwarzania danych:

- system GIS do analiz przestrzenno-czasowych,
- system modelowania, rozwoju i transformacji powodzi, oparty na pomiarach terenowych i pakietach modeli numerycznych.

Te systemy stanowią źródło zweryfikowanej informacji, która jest następnie wykorzystywana w analizach i ocenach, w ramach koordynacji działań w procesie zarządzania ryzykiem powodziowym.

Istotną informacją jest fakt, że efekty analiz i ocen podlegają procedurze upowszechnienia według kwalifikacji dostępności do informacji i jej dalszego wykorzystania. Upowszechnienie informacji ma kluczowe znaczenie w procesie edukacji społecznej, a także w uzyskiwaniu standaryzowanych rozwiązań projektowych i realizacyjnych.

3. OCENA ZAGROŻENIA I RYZYKA POWODZIOWEGO

3.1. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA I REGULACJE PRAWNE

Przed przejściem do założeń, regulacji prawnych i samej oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego, przypomnijmy podane w rozdziale 2 definicje:

***Zagrożenie powodziowe (powodzią)** (ang. flood hazard) oznacza opis zagrożenia powodziowego, który obejmuje cechy fizyczne powodzi na danym obszarze (punkcie), czyli głębokość zalewu i jego zasięg, czas trwania i prędkość przepływu. Czasami zagrożenie powodziowe obejmuje również ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia, ale jest to cecha przynależna do opisu powodzi potencjalnej, a tylko czasami historycznej [35].*

***Ryzyko powodziowe** (ang. flood risk) to połączenie prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i potencjalnych negatywnych, związanych z powodzią konsekwencji dla zdrowia i życia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej [20].*

3.1.1. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE OCEN

Chcąc powiązać, przywołane powyżej, zagrożenie powodziowe z ryzykiem powodziowym dla danego zasięgu zalewu i jego cech (głębokość, dynamika), musimy określić jego negatywne konsekwencje. Dotyczy to zakresu i wielkości szkód oraz wartości strat powodziowych w kategoriach zdrowia i życia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej.

W tej sytuacji, zarówno zagrożenie powodziowe, jak i związane z nim ryzyko powodziowe, muszą odpowiadać tej samej wartości prawdopodobieństwa hydrologicznego wystąpienia powodzi. **Jest to pierwsze podstawowe założenie, przyjęte w zakresie oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego.**

Powyższe założenie oznacza, że w obu ocenach musimy określić wartość prawdopodobieństwa hydrologicznego, dla którego chcemy bądź jesteśmy zobowiązani takich ocen dokonać. Oznacza to również, że dla całego kraju, a obecnie dla krajów Unii Europejskiej (a także większości pozaeuropejskich) przyjmuje się jedną podstawową wartość tego prawdopodobieństwa, tak aby oceny były porównywalne. **Jest to drugie podstawowe założenie, przyjęte w zakresie oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego.**

Prawdopodobne powodzie oraz związane z nimi zagrożenia i ryzyka nazywamy także zdarzeniami potencjalnymi, w odróżnieniu od rzeczywistych.

Zwykle, obok głównej oceny, na bazie przyjętego powszechnie prawdopodobieństwa zaleca się oceny dla dwóch innych wartości tego prawdopodobieństwa: a) wyższego, dla powodzi częściej występujących, których wartość kulminacji fali wezbraniowej jest niższa, b) niższego, dla powodzi występujących rzadziej, których wartość kulminacji fali wezbraniowej jest wyższa.

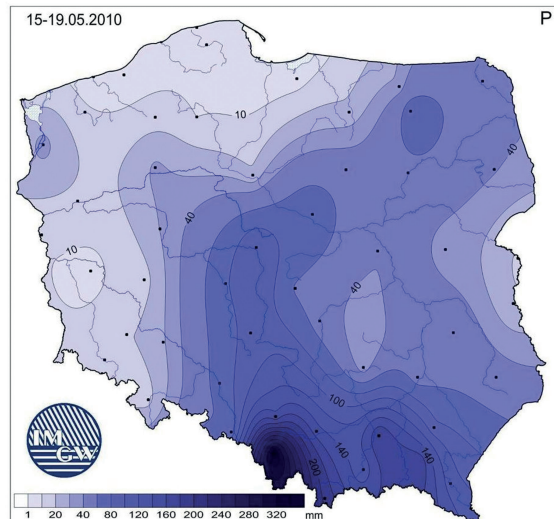
Kraje europejskie i większość krajów pozaeuropejskich za podstawę oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego przyjęła główną wartość prawdopodobieństwa hydrologicznego, odpowiadającego wezbraniu o kulminacji przepływu Q_{\max} , równej przepływowi o wartości $Q_{1\%}$, co w powszechnym rozumieniu odpowiada przepływowi stuletniemu.

Wartość prawdopodobieństwa $p = 1\%$ jest powszechnie uznana za bazową, ale w zależności od źródeł lub mechanizmów powodzi może ona dotyczyć opadu, sztormu czy podniesienia się poziomu morza (np. w Wielkiej Brytanii).

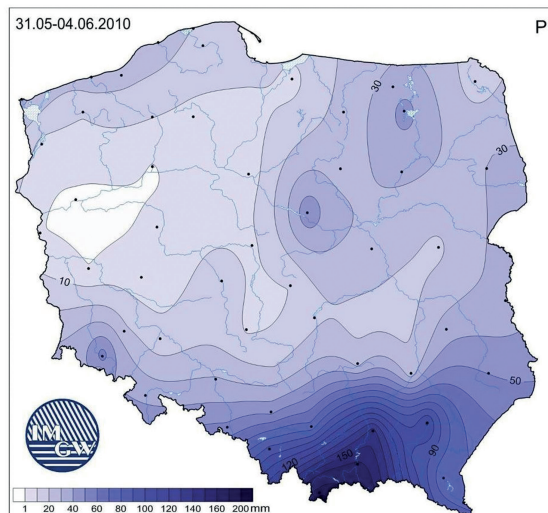
Należy sobie zadać pytanie, czy takie kryterium odpowiada: 1) realnym warunkom powodzi lub 2) jak jest ono związane z realnymi powodziami, które występują obecnie i występowały w przeszłości?

1) Jeśli pytanie dotyczy realnych warunków powodzi, czyli zdarzenia w określonym czasie i na określonym obszarze (regionu, kraju), które odpowiada jednej wartości prawdopodobieństwa hydrologicznego, to odpowiedź brzmi: NIE.

W realnych warunkach rzeczywista przestrzenna struktura wielkości powodzi na danym obszarze wiąże się z parametrami jej źródła oraz uwarunkowaniami rozwoju powodzi na długości rzeki w danym układzie hydrograficznym. Realna wielkość



II. 3.1. Rozkład przestrzenny sumy opadów w okresie 15-19 maja 2010 r., które wywołały wielką powódź w 2010 r. w dorzeczu Wisły. Źródło: IMGW-PIB



II. 3.2. Rozkład przestrzenny sumy opadów w okresie 31 maja – 4 czerwca 2010 r., które wywołały drugą kulminację fali w 2010 r. w dorzeczu Wisły. Źródło: IMGW-PIB

i czas koncentracji opadu, czyli przyczyna powodzi, nie jest stała na obszarze całego dorzecza ani też jego części. Przykładowo, na ilustracjach 3.1 i 3.2 pokazano przestrzenny rozkład sum opadów, które wywołały dwa kolejne wezbrania w maju i czerwcu 2010 r. Jak widać, wywołały one zagrożenie powodziowe przede wszystkim w dorzeczu Wisły wskutek różnych wartości opadu oraz o zróżnicowanych poziomach kulminacji w różnych częściach tego dorzecza.

W 2010 r. źródłem powodzi było dorzecze górnej Wisły, gdzie powódź rozwijała się zgodnie z transformacją fali opadów oraz warunkami lokalnymi. Tutaj właśnie uzyskała najwyższe wartości kulminacji przepływów, odpowiadające najniższym – w kategoriach statystycznych – wielkościom prawdopodobieństwa. Ale także na tym obszarze, na poziomie regionalnym, prawdopodobieństwo kulminacji fali zostało zróżnicowane realnymi wartościami opadu oraz lokalnymi warunkami odpływu. W tabeli 3.1 przedstawiono wartości prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych w czasie powodzi 2010 r. w poszczególnych częściach dorzecza górnej Wisły.

Należy dodać, że na różnice występujące w poziomach prawdopodobieństwa kulminacji fal powodziowych ma wpływ oddziaływanie retencji powodziowej zbiorników wodnych, a przede wszystkim czasowe różnice wystąpienia kulminacji na poszczególnych odcinkach rzek, które decydują o przesunięciach czasowych transformacji fali. Tym samym w układzie hydrograficznym występują różnice czasowe „dobiegu” fali do odcinków ujściowych dopływów do rzeki – odbiornika. Połączenie fal wezbraniowych rzadko odbywa się tak, aby ich kulminacje złożyły się w tym samym czasie, tworząc najwyższą możliwą falę. Objętości przy kulminacji sumarycznej, zależnej od ich przesunięcia w czasie, sumują się.

Tabela 3.1

Prawdopodobieństwo kulminacji fali powodziowej w dorzeczu górnej Wisły w 2010 r.
(wg IMGW-PIB)

Obszar dorzecza górnej Wisły	Zakres wartości prawdopodobieństwa odpowiadającego kulminacji fali powodziowej
Mała Wisła (do ujścia Przemszy)	5% – 0,1%
Wisła (do przekroju Zawichost)	5% – 1%
Dorzecze Soły	10% – 0,3%
Dorzecze Skawy	30% – 10%
Dorzecze Raby	5% – 2%
Dorzecze Dunajca	40% – 5%
Dorzecze Wisłoki	1%
Dorzecze Wisłoka	10%
Dorzecze Sanu	20% – 5%

2) Odpowiedź na drugą część pytania brzmi: TAK. Ocena zagrożenia na bazie zdarzeń prawdopodobnych jest możliwa jedynie w ścisłym powiązaniu z powodziami występującymi w warunkach rzeczywistych, obecnie i w przeszłości.

Po pierwsze, powódzie rzeczywiste dostarczają podstawowej informacji hydrologicznej o wartościach przepływów maksymalnych, na podstawie których dokonuje się, w drodze analizy statystycznej wieloletnich ciągów obserwacji, oceny prawdopodobieństwa wezbrań powodziowych o określonych wartościach prawdopodobieństwa występowania ich przepływów kulminacyjnych. Dotyczy to prawdopodobieństwa bazowego wynoszącego $p = 1\%$, a także wyższych, takich jak $p = 10\%$ (niższa wartość kulminacji), czy też niższych prawdopodobieństw, jak $p = 0,5\%$, $0,2\%$, $0,1\%$ (wyższe i bardzo wysokie wartości kulminacji).

Po drugie, powódzie historyczne stanowią podstawową informację dla oceny realnego zagrożenia. Wskazują obszary i miejsca, gdzie ono występuje, a wielkość szkód oraz strat powodziowych decyduje o wysokości poziomu ryzyka, jakie w tych rejonach może wystąpić. W rezultacie powódzie te i ich skutki wskazują miejsca najbardziej narażone na zagrożenie, w których powinny być realizowane oceny.

3.1.2. REGULACJE PRAWNE W ODNIESIENIU DO OCEN ZAGROŻENIA I RYZYKA POWODZIOWEGO

W kontekście opisanych wyżej uwarunkowań i podstawowych założeń oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego, bazą dla regulacji prawnych w tym zakresie stały się trzy następujące po sobie, hierarchicznie wykonywane oceny:

- wstępna ocena ryzyka powodziowego, zwana w skrócie WORP, oparta przede wszystkim na powodziach historycznych, ale tych, które są wystarczająco udokumentowane; jej celem jest wskazanie wytycznych obszarowych do dalszych ocen. **Końcowym i głównym produktem tej oceny są lokalizacje obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi, zwanych w skrócie (ONNP).**

Obecnie, po latach doświadczeń i weryfikacji potrzeb, uwzględnia się tutaj również potencjalne obszary powodziowe, wyznaczone w poprzednich cyklach planistycznych, z uwzględnieniem określonego prawdopodobieństwa wystąpienia, wpływu zmian klimatycznych na czynniki powodziowe i ich skutki, a także awarii obiektów ochronnych; dokonuje się także weryfikacji zasięgu zagrożenia na skutek realizacji inwestycji i działań ochronnych.

- ocena zagrożenia powodziowego w obszarach wskazanych do realizacji w ramach WORP, na podstawie wskazanych w niej obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP). **Końcowym i głównym produktem tej oceny są mapy zagrożenia powodziowego (MZP) potencjalnego, czyli prawdopodobnego.**
- ocena ryzyka powodziowego na obszarach ujętych na mapach zagrożenia powodziowego. **Końcowym i głównym produktem tej oceny są mapy ryzyka powodziowego (MRP) potencjalnego, czyli prawdopodobnego.**

Oceny te stanowią podstawę do opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym, zwanych w skrócie PZRP (zob. rozdz. 4), na podstawie których realizowane są rozwiązania, mające na celu ograniczenie ryzyka powodziowego. Oczywiście, jak zaznaczono wyżej, te rozwiązania zmieniają podstawę, czyli wpływają na zagrożenie i ryzyko powodziowe. Aby zapewnić efektywność działań, zarówno w ocenach, jak i w realizacji działań, mających na celu ograniczenie zagrożenia powodziowego w warunkach rozwoju, wprowadza się cykliczność prac.

Podstawą prawną tej złożonej procedury jest Dyrektywa Powodziowa [20] oraz jej transpozycja do polskiego prawa (ustawa Prawo wodne [65]). Prace realizowane są cyklicznie w okresach sześcioletnich, począwszy od pierwszego cyklu, obejmującego okres lat 2010-2015. Obecny okres realizacyjny to lata 2016-2021.

Biorąc pod uwagę krótki czas przygotowania pierwszych dokumentów (Dyrektywa Powodziowa obowiązuje od 2007 r.), a także brak doświadczenia i kompletnych baz danych, pierwsza ocena pozostawiała wiele do życzenia. W tej sytuacji już od 2011 r. rozpoczęto pierwsze weryfikacje danych i ich wyników.

Obecna ustawa Prawo wodne [65] reguluje hierarchię prac oraz podstawowe zakresy dokumentacji, co stanowi przedmiot jej artykułów w dziale IV: *Zarządzanie ryzykiem powodziowym i przeciwdziałanie skutkom suszy*, gdzie rozdział I poświęcono zarządzaniu ryzykiem powodziowym. Tryb postępowania w zakresie hierarchicznej realizacji przedmiotowych ocen zawarto w następujących artykułach tej ustawy:

- Art. 168 – wskazuje wykonawcę oraz określa tryb procedowania i przekazania do wykorzystania wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WOPR),

- Art. 169 – wskazuje wykonawcę oraz określa tryb procedowania i przekazania do wykorzystania map zagrożenia powodziowego (MZP), końcowego produktu oceny zagrożenia powodziowego,
- Art. 170 – wskazuje wykonawcę oraz określa tryb procedowania i przekazania do wykorzystania map ryzyka powodziowego (MRP), końcowego produktu oceny ryzyka powodziowego.

Doświadczenia praktyczne z efektów wdrożenia tej procedury, między innymi raporty oceniające prawidłowość i efektywność prac [26], prowadzą do jej systematycznego uszczegóławiania w praktyce, zwłaszcza w zakresie aktualizacji kwalifikacji powodzi oraz wymagań metodycznych i bazodanowych.

Obecnie, w okresie II cyklu planistycznego obejmującego lata 2016-2021, obowiązują dokumenty realizacyjne, których opracowanie zakończono w 2015 r. i opublikowano w 2016 r. (dla Wisły jest to Rozporządzenie Rady Ministrów z 18 października 2016 r., Dz.U. 2016, poz. 1841). Aby sprostać wymaganiom zakończenia obecnej procedury planistycznej przed rozpoczęciem jej okresu realizacyjnego na lata 2022-2027, już od 2016 r. trwają prace przygotowujące zweryfikowane oceny zagrożenia oraz ryzyka powodziowego.

3.2. WSTĘPNA OCENA RYZYKA POWODZIOWEGO (WORP)

Jak już powiedziano, celem WORP jest wskazanie miejsc realnie zagrożonych powodzią, aby ograniczyć zasięg trudnych i kosztownych ocen szczegółowych oraz map zagrożenia i ryzyka.

Ma to związek również z konsekwencjami upowszechnienia informacji o zagrożeniu powodziowym, zarówno w kontekście planowania przestrzennego, jak i ochrony terenów oraz ich zabudowy przed spadkiem wartości czy też wzrostem kosztów ubezpieczeń, w sytuacji gdy nie ma powodów do obawy o zagrożenie. Są to kwestie trudne i wrażliwe w kontekście społeczno-ekonomicznym, dlatego oceny wymagają kontroli, ale przede wszystkim zweryfikowanej, odpowiedzialnej bazy informacyjnej, na podstawie której są one formułowane.

Wstępna ocena ryzyka powodziowego, przeprowadzona na potrzeby I cyklu planistycznego w latach 2010-2015, była zgrubna. Została wykonana wcześniej, wyprzedzająco i dostosowana do ówczesnych wymagań oraz dostępnej bazy informacyjnej [41]. Opierała się przede wszystkim na ocenie zasięgu powodzi historycznych, ale została poszerzona o domniemane możliwości wystąpienia powodzi na innych obszarach. Wykonane na jej podstawie mapy zagrożenia powodziowego w wielu przypadkach budziły wątpliwości – często uzasadnione. Jej pierwsza weryfikacja została przeprowadzona już w 2011 r.

Od tamtego czasu nastąpił wyraźny postęp – zostały określone nowe wymagania klasyfikacyjne, metodyczne i bazodanowe, a także dopuszczono brak możliwości

ocen przy ograniczonej informacji (lub wręcz jej braku), tak aby można było, po uzupełnieniu danych, przenieść realizację prac do kolejnego cyklu planistycznego.

W tej części podręcznika zaprezentowano aktualne prace, wykonane w okresie 2016-2018 w ramach II cyklu planistycznego, weryfikujące pierwszą ocenę WORP zgodnie z poprawionym podejściem do tej oceny. Te dokumenty planistyczne będą obowiązywały w latach 2022-2027 – w okresie III cyklu planistycznego.

3.2.1. ZAKRES OCENY WORP

Zakres oceny WORP jest obecnie określony prawnie i odpowiada wymaganiom pełnego wdrożenia i transpozycji do polskiego prawa Dyrektywy Powodziowej [20].

Zgodnie z powyższym, zakres wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) określa art. 167 ustawy Prawo wodne [65], który jednoznacznie określa prawny zakres analizy i oceny:

„Art. 167. 1. Dla obszarów dorzeczy przygotowuje się, na podstawie dostępnych lub łatwych do uzyskania informacji, obejmujących także wpływ zmian klimatu na występowanie powodzi, wstępną ocenę ryzyka powodziowego.

2. Wstępna ocena ryzyka powodziowego zawiera w szczególności:

- 1) mapy obszarów dorzeczy, z zaznaczeniem granic dorzeczy, granic zlewni i granicy pasa nadbrzeżnego, ukazujące topografię terenu oraz jego zagospodarowanie;
- 2) opis powodzi historycznych:
 - a) które spowodowały znaczące negatywne skutki dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej, zawierający ocenę tych skutków, zasięg powodzi oraz trasy przejścia wezbrania powodziowego,
 - b) jeżeli istnieje prawdopodobieństwo, że podobne zjawiska powodziowe będą miały znaczące negatywne skutki dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej;
- 3) ocenę potencjalnych negatywnych skutków powodzi mogących wystąpić w przyszłości dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej, z uwzględnieniem:
 - a) topografii terenu,
 - b) położenia cieków wodnych i ich ogólnych cech hydrologicznych oraz geomorfologicznych, w tym obszarów zalewowych jako naturalnych obszarów retencyjnych,
 - c) skuteczności istniejących zbiorników wodnych i innych budowli przeciwpowodziowych i regulacyjnych,
 - d) położenia obszarów zamieszkałych,
 - e) położenia obszarów, na których jest wykonywana działalność gospodarcza;
- 4) w miarę możliwości – prognozę długofalowego rozwoju wydarzeń, w szczególności wpływu zmian klimatu na występowanie powodzi;

5) określenie obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi”.

Zgodnie z obowiązującą obecnie ustawą Prawo wodne [65], na opis powodzi historycznych uwzględnionych w WORP składają się:

- powodzie, które spowodowały znaczące negatywne skutki dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej,
- powodzie, co do których istnieje prawdopodobieństwo, że podobne zjawiska powodziowe będą miały znaczące negatywne skutki dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej.

Interpretacja *oceny ryzyka powodziowego* na potrzeby WORP pozwala na określenie tzw. *znaczącego ryzyka powodziowego* w rozumieniu wyznaczenia obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP). Interpretacja ta oparta jest na analizie wykorzystującej następujące elementy:

- określenie obszarów potencjalnego zagrożenia powodzią – ma na celu wskazanie wszystkich miejsc/obszarów, gdzie na podstawie dostępnych danych zidentyfikowano jakikolwiek problem powodzi,
- ocenę negatywnych skutków powodzi na obszarach potencjalnego zagrożenia powodzią,
- prognozę długofalowego rozwoju wydarzeń, w tym rozwoju i zmian klimatu.

W konsekwencji powyższych ustaleń określa się obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP).

3.2.2. WYNIKI OCENY WORP PRZEPROWADZONEJ W ROKU 2018 NA POTRZEBY PLANISTYCZNE NA LATA 2022-2027

Rzeczowy zakres WORP został ustalony na bazie europejskiej regulacji z 2018 r. na potrzeby realizacji II cyklu planistycznego. Został on przedstawiony w raporcie z tych prac, opublikowanym w 2018 r. [56].

Główne zmiany rzeczowe dotyczą nowej kwalifikacji powodzi, opracowanej przez Komisję Europejską. Poniżej, w tabeli 3.2, podano tę kwalifikację, dostosowaną do naszych krajowych warunków. Oryginalna klasyfikacja jest szersza i dostosowana do źródeł i mechanizmów powstawania powodzi w krajach Unii Europejskiej. W tabeli zaznaczono jednocześnie te zagrożenia, które nie będą uwzględnione w II cyklu planistycznym, lecz zostały przeniesione do III cyklu, obejmującego lata 2022-2027.

Pozostałe zmiany dotyczą konieczności uszczegółowienia bazy danych oraz oceny ryzyka powodziowego dla powodzi historycznych, będących podstawą klasyfikacji obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP) w ramach wstępnej oceny ryzyka zagrożenia WORP.

Z uwagi na trudności w zakresie spełnienia w naszym kraju wszystkich postawionych wymagań (brak udokumentowanych prawidłowo danych), ograniczono również ocenę ekonomiczną skutków powodzi, w niektórych przypadkach przenosząc ją

na kolejny cykl planistyczny. Nie stanowi to istotnej przeszkody, ponieważ ważniejszy jest zasięg obszaru wskazanego do dalszych, kluczowych ocen zagrożenia i ryzyka powodziowego.

Tabela 3.2

Typy powodzi występujące w Polsce, uwzględnione w aktualizacji WORP wg klasyfikacji europejskiej, z informacją o zakresie ich uwzględnienia (wg [65])

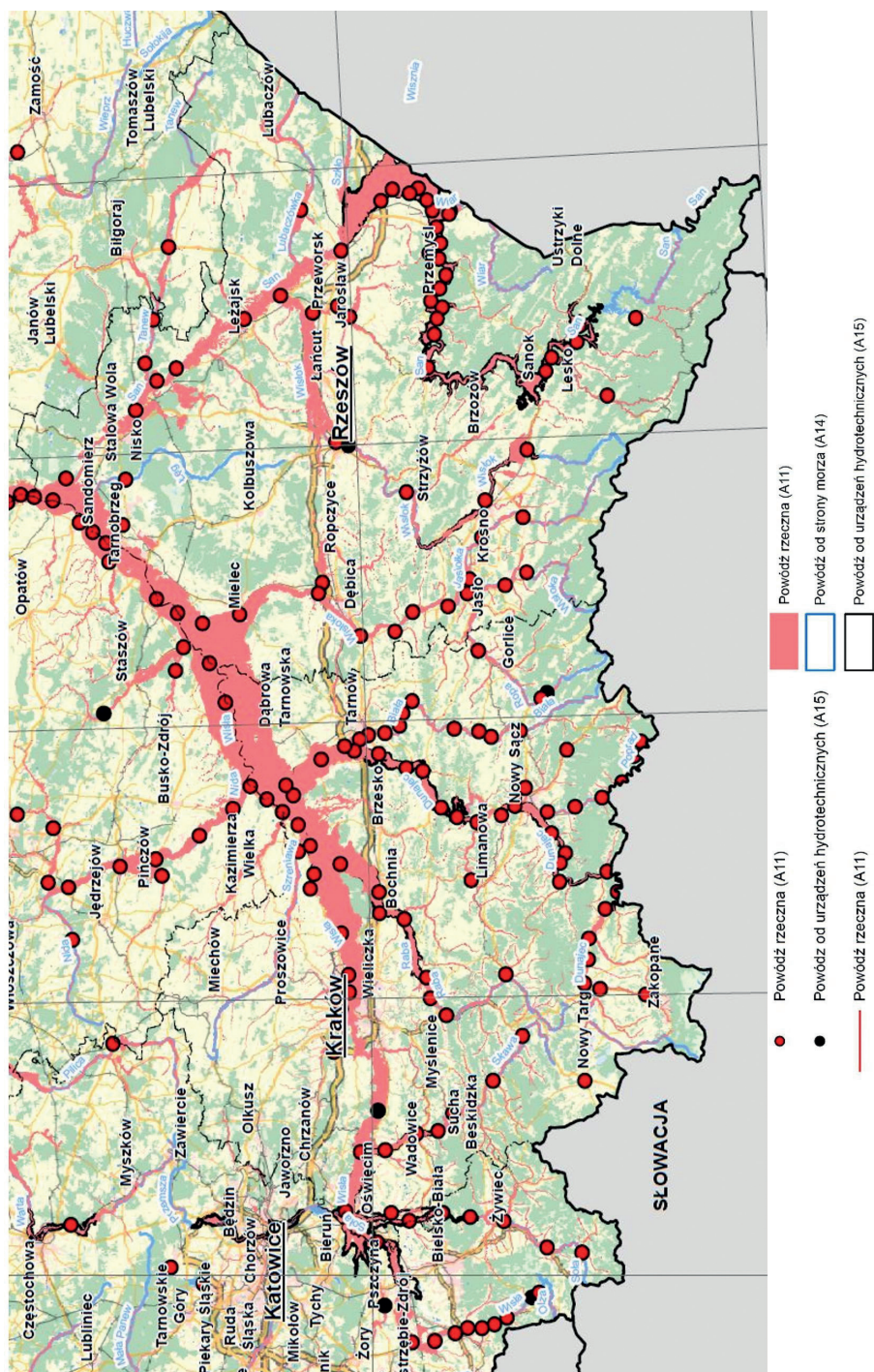
Rodzaj powodzi wg źródła/mechanizmu powstawania	Klasyfikacja europejska	Zakres uwzględnienia w WORP
Powodzie rzeczne o mechanizmie naturalnego wezbrania	A11	W pełnym zakresie opisu
Powodzie rzeczne powstałe w wyniku przelania lub zniszczenia obwałowań przeciwpowodziowych	A23	W pełnym zakresie opisu
Powodzie rzeczne zimowe o mechanizmie zatorowym	A24	W pełnym zakresie opisu
Powodzie opadowe	A12	W ograniczonym zakresie. Na podstawie informacji pośredniej, dotyczącej liczby interwencji straży pożarnej
Powodzie od wód podziemnych	A13	Zrezygnowano z ich uwzględnienia z uwagi na braki informacyjne
Powodzie od strony morza	A14	W pełnym zakresie opisu
Powodzie powstałe w wyniku zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących	A15	Dokonano wyboru obiektów wg wysokości piętrzenia (> 10 m)

W wyniku dokonanego przeglądu i aktualizacji WORP w zakresie wyznaczenia obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP), obszary te określono dla:

- 1) powodzi rzecznych o mechanizmie naturalnego wezbrania; jako ONNP wyznaczono odcinki rzek o łącznej długości 29 302 km, z czego:
 - 14 412 km to odcinki rzek wskazane w WORP w 2011 r., dla których MZP i MRP zostały opracowane w I cyklu planistycznym,
 - 13 529 km to odcinki rzek wskazane w WORP w 2011 r., dla których MZP i MRP są opracowywane w II cyklu planistycznym,
 - 1362 km to odcinki rzek wskazane w przeglądzie i aktualizacji WORP w 2018 r., dla których MZP i MRP będą opracowywane w II cyklu planistycznym.

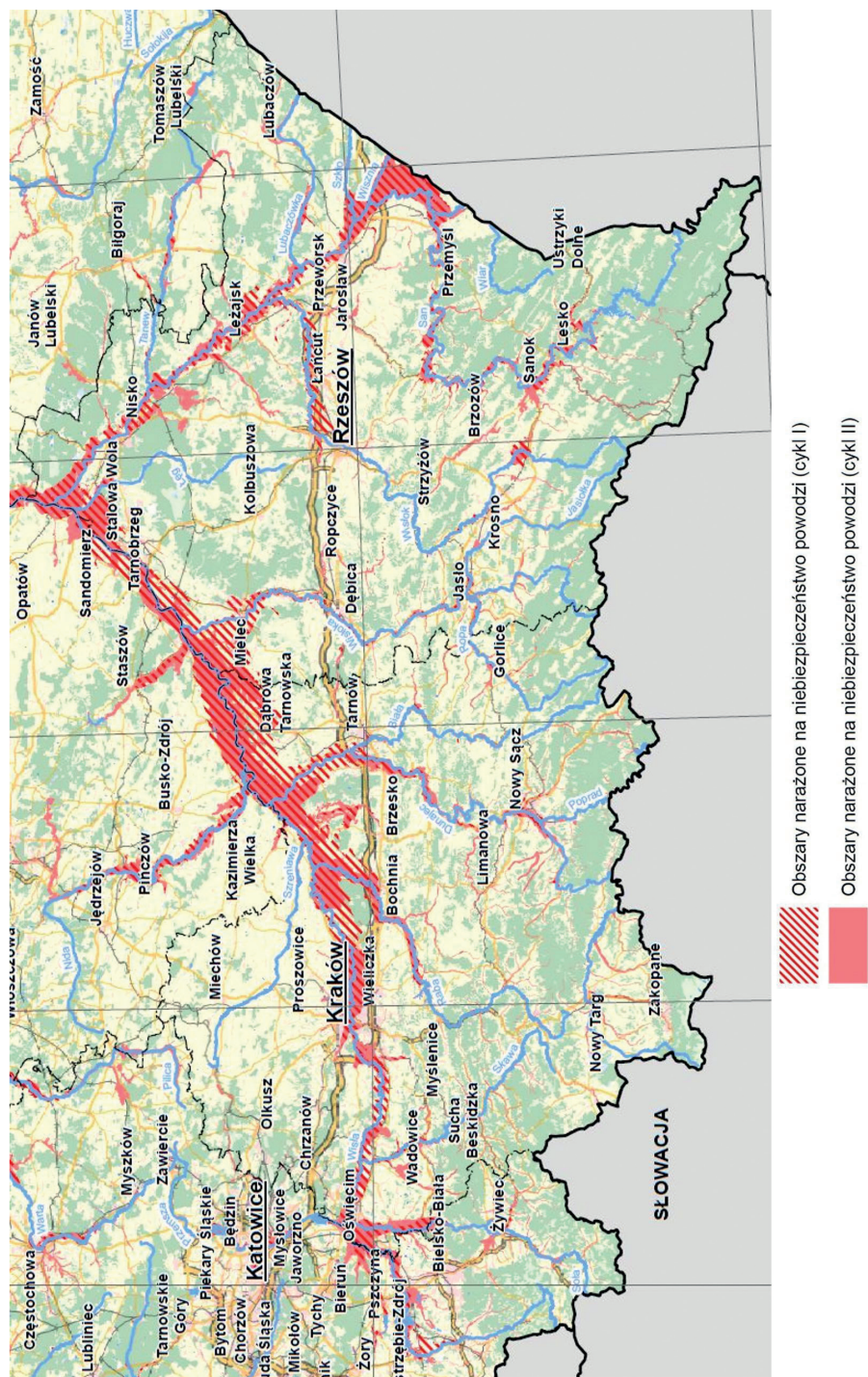
Dodatkowo wskazano rzeki o łącznej długości 1394 kilometrów, wykazujące tendencję do znaczącego ryzyka powodziowego. Nie określono dla nich ONNP, ale uznano, że należy na nie zwrócić szczególną uwagę w kolejnym (III) cyklu planistycznym;

- 2) powodzi rzecznych powstałych w wyniku przelania lub zniszczenia obwałowań przeciwpowodziowych; analizowano je razem z powodziami rzecznyymi o mechanizmie naturalnego wezbrania (wspólne ONNP);



II. 3.4. Powodzie prawdopodobne na tle powodzi historycznych.

Źródło: https://www.kzgw.gov.pl/files/WORP%202019/aWORP/wizualizacje/Polska/PP_Polska.pdf (dostęp: 12.06.2020)



II. 3.5. Obszary wyznaczone jako ONNP na podstawie zweryfikowanego I i II cyklu planistycznego.

Źródło: https://www.kzgw.gov.pl/files/WORP%202019/aWORP/wizualizacja/Poliska/ONNP_Polska.pdf (dostęp: 12.06.2020)

3) powodzi od strony morza, w tym morskich wód wewnętrznych; jako ONNP określono 1105 km rzek przybrzeżnych/odcinków wybrzeża.

Dodatkowo wyznaczono też cieśninę Dziwną, która podobnie jak Zalew Szczeciński nie posiada kilometrażu;

4) powodzi powstałych w wyniku zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących; jako ONNP wyznaczono 26 zbiorników zaporowych o wysokości zapory powyżej 10 m, w tym 10 zbiorników na obszarze dorzecza Odry i 16 na obszarze dorzecza Wisły.

Dodatkowo wskazano jeden zbiornik wykazujący tendencję do znaczącego ryzyka powodziowego – nie określono dla niego ONNP, ale należy na niego zwrócić szczególną uwagę w kolejnym (III) cyklu planistycznym.

Dla pozostałych analizowanych typów powodzi nie określono ONNP.

Na ilustracjach 3.3-3.5 przedstawiono wybrane wyniki wyznaczenia obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi (ONNP), dotyczące zlewni dorzecza górnej Wisły.

3.3. OCENA ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

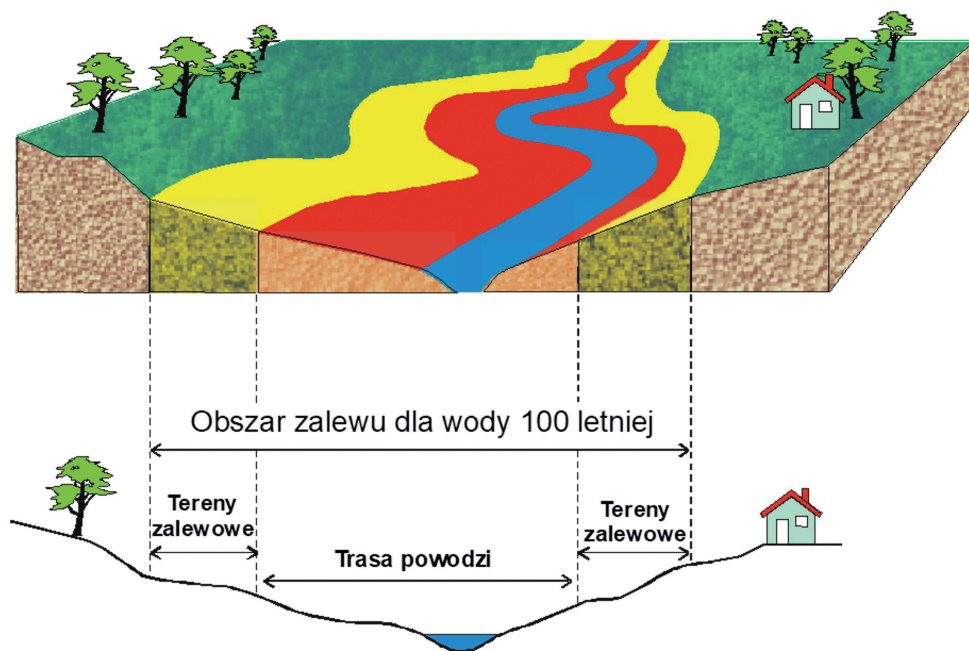
3.3.1. GENEZA I PODSTAWA OCENY

Ocena zagrożenia powodziowego, a przede wszystkim jej końcowy produkt, czyli mapy zagrożenia powodziowego, są znane i wykorzystywane od lat 70. i 80. XX w. przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych (informacje źródłowe są dostępne w FEMA – Federalnej Agencji Zarządzania Kryzysowego USA; ang. *US Federal Emergency Management Agency*).

W krajach europejskich, po wielkich powodziach na przełomie lat 80. i 90. XX w., również podjęto prace w tym zakresie, wprowadzając w poszczególnych krajach indywidualne rozwiązania. Dotyczyły one rzek i ich terenów przybrzeżnych. Już wówczas zagrożenie wezbraniem rzeczonym o prawdopodobieństwie przepływu kulminacyjnego $Q_{\max} = Q_{1\%}$ uznano za podstawę do oceny zasięgu tego zagrożenia jako typowego. Prezentuje to schematycznie ilustracja 3.6, odniesiona do przekroju poprzecznego rzeki.

Pokazano na niej zasięg strefy zalewu, odpowiadającej $p = 1\%$ (przepływ stuletni), dzieląc tę strefę na: a) główną trasę powodzi, gdzie głębokości i prędkości przepływu są wysokie, oraz b) tereny zalewowe o niskim poziomie zagrożenia. Jest to schemat z 2000 r., bazujący na wspomnianych wcześniej doświadczeniach amerykańskich i europejskich. Zasadniczo określano wówczas, że głębokość na terenach zalewowych nie przekracza 0,5 m (maksymalnie do 0,7 m).

Po wielkiej powodzi w 1997 r. w Polsce podjęto starania i uzyskano kredyt Banku Światowego na realizację projektu Likwidacja Skutków Powodzi w Polsce (pożyczka nr 4264-POL). Jest to projekt odbudowy po powodzi, który w ramach Komponentów B.1 i B.4 zakładał wprowadzenie w naszym kraju nowoczesnego systemu informacyjnego o powodzi, a jego rezultaty objęły między innymi:



II. 3.6. Schemat zasięgu przepływu korytowego (kolor niebieski), podstawowej strefy zagrożenia dla $Q_{1\%}$ z wyróżnieniem zasadniczej trasy powodzi (kolor czerwony) oraz terenów zalewu o niskim poziomie zagrożenia (kolor żółty)

- opracowanie oraz wdrożenie metodyki wyznaczania stref zagrożenia powodziowego, co zakończono podręcznikiem metodycznym w 2000 r. [43],
- budowę podstaw i wdrożenie ośrodków informacyjno-koordynacyjnych ochrony przeciwpowodziowej, działających przy regionalnych zarządach gospodarki wodnej, wyposażonych metodycznie, narzędziowo (bazy danych, GIS, systemy informatyczne, specjalistyczne oprogramowania do analiz rozwoju powodzi itp.), a także w sprzęt informatyczny, które uruchomiono w latach 2004-2005 [48].

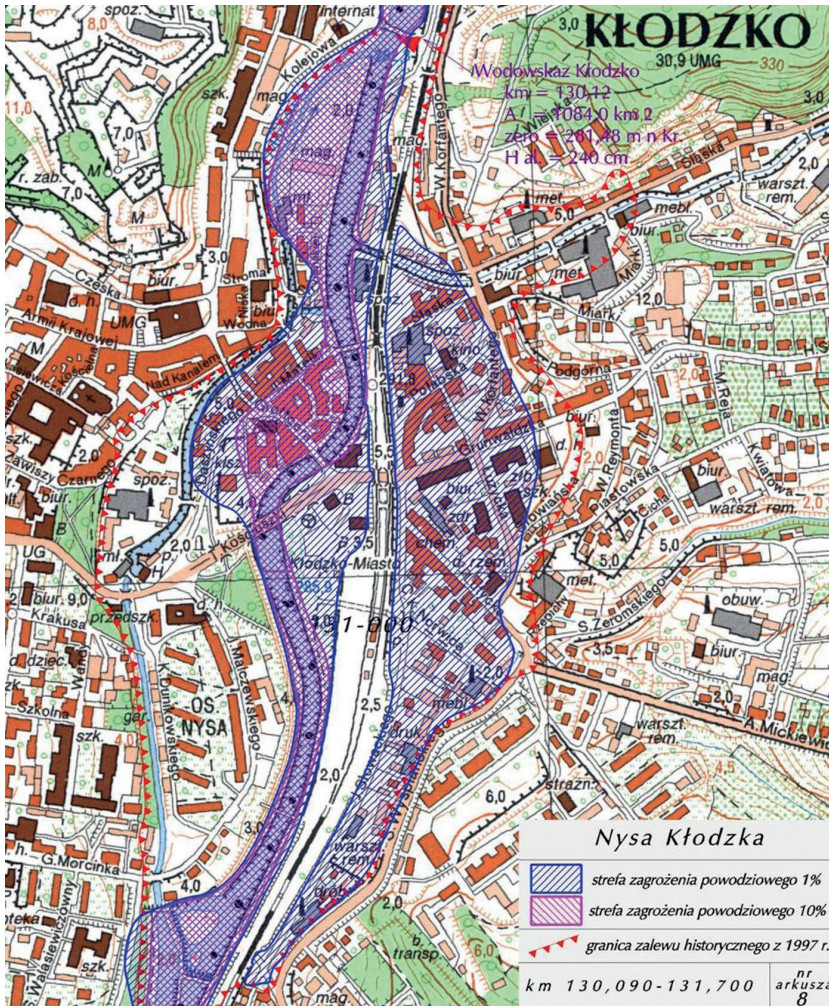
Autorzy niniejszego podręcznika brali udział w pracach nad tym projektem, tworząc zręby nowoczesnego systemu oceny zagrożenia powodziowego w Polsce, w tym opracowania metodyki wyznaczania stref zagrożenia powodziowego.

Tę metodykę uzupełniono bazą analiz dynamiki przepływu, począwszy od głębokości zalewu, a skończywszy na strefach prędkości przepływu. Te dynamiczne związki były wówczas podstawą oceny poziomu zagrożenia, ponieważ w naszych krajowych warunkach, np. w Karpatach i Sudetach, nie mamy do czynienia z klasycznym zalewem, ale z ostrym spływem rzeczonym (potokowym), gdzie w rejonie koryta głębokości nie przekraczają 0,5-1,0 m, ale prędkość przepływu znacznie przewyższa 2 m/s.

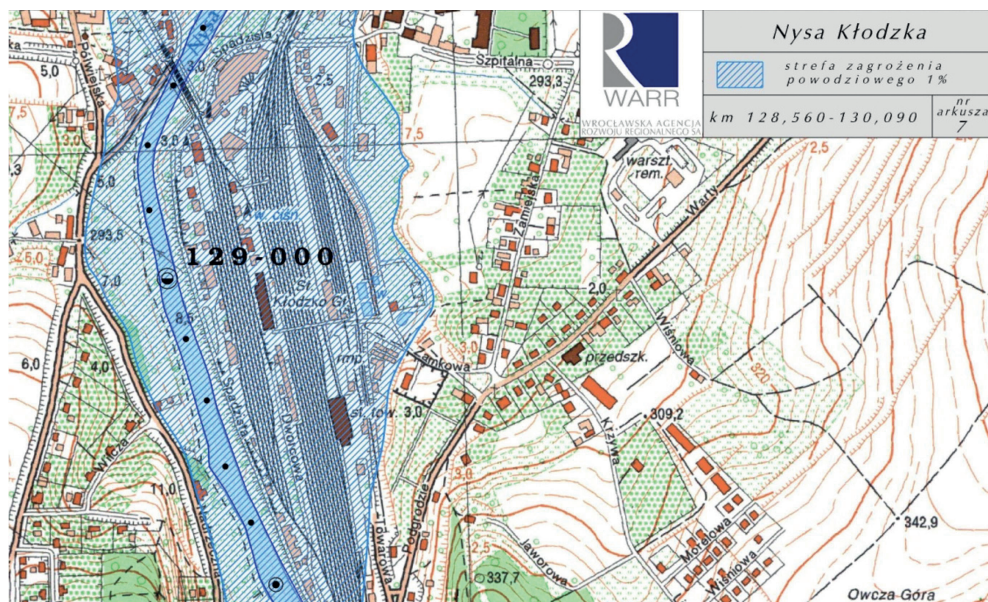
Oczywiście po upływie wielu lat obecne podejście, poparte doświadczeniem, rozwojem metodyki, a także zastosowaniem znacznie bardziej zaawansowanych

narzędzi informatycznych, podniosło dokładności analiz i możliwości ich weryfikacji. Niemniej jednak podstawy nie uległy zmianie, a Dyrektywa Powodziowa ujednoliciła w tym zakresie procedury klasyfikacyjne i aplikacyjne.

Poniżej, na ilustracji 3.7, przedstawiono pierwszą opracowaną w Polsce strefę zagrożenia powodziowego, sporządzoną dla miasta Kłodzka, jednego z najbardziej uszkodzonych w powodzi w 1997 r. Jej weryfikację stanowił rzeczywisty zasięg powodzi, odpowiadający $Q_{1\%}$ po uwzględnieniu wpływu przeszkód usuniętych po powodzi, rozbieżny ze strefą obliczeniową. Jednak szczegółowa analiza *in situ* uzasadniła te rozbieżności, a w części północnej i południowej potwierdzono poprawne odwzorowanie zasięgu zagrożenia.



II. 3.7. Miasto Kłodzko. Obliczona strefa zasięgu powodzi prawdopodobnej $p = 1\%$ na Nysie Kłodzkiej, na tle granic zalewu historycznego z 1997 r. Według [43]



Il. 3.8. Detal strefy zagrożenia powodziowego dla $p = 1\%$ na Nysie Kłodzkiej, z wyraźną granicą koryta rzeki oraz trasą jednego z mostów w rejonie dworca kolejowego. Oprac. własne na podstawie lokalnego programu ochrony przed powodzią gminy Kłodzko

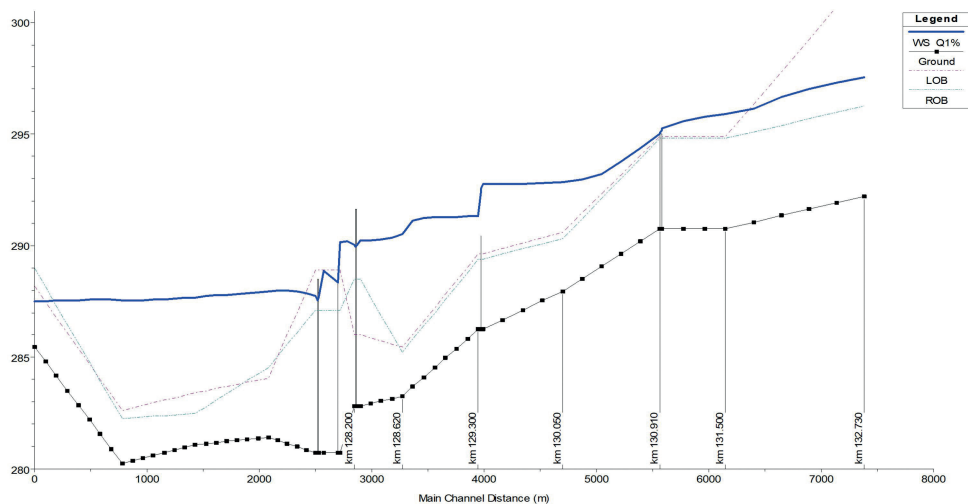
Podstawowa zasada oceny zagrożenia powodziowego dotyczy obszarów przybrzeżnych rzek oraz terenów najbardziej narażonych na skutki powodzi w naszym i innych krajach o zbliżonych warunkach geograficznych i hydrologicznych.

Aby przybliżyć tę zasadę, odnieśmy się do profilu podłużnego rzeki na przykładzie Nysy Kłodzkiej, której strefę zasięgu powodzi prawdopodobnej pokazano na ilustracji 3.7. Na ilustracji 3.8 przybliżono układ poziomy Nysy Kłodzkiej i strefę zasięgu stuletniej powodzi.

Powyższe przybliżenie (il. 3.8) wskazuje, że strefę oparto na układzie wysokościowym, reprezentowanym przez warstwicę wysokościową. Oznacza to, że podstawą wyznaczenia tego zasięgu jest odwzorowanie wysokościowego układu zwierciadła wody w rzece i przeniesienie go na graficzny układ wysokościowy terenu zalewowego. Odwzorowanie to jest dokonywane na podstawie równań hydraulicznych opisujących ruch wody w rzece, adekwatny do założonych warunków powodziowych (zob. Aneks). Odwzorowanie rzeczne uwzględnia naturalną geometrię rzeki oraz przeszkody, takie jak filary i konstrukcję mostu.

Na ilustracji 3.9 pokazano obliczony tą metodą profil zwierciadła wody na rzece Nysie Kłodzkiej, uwzględniający spiętrzenia wody wywołane konstrukcjami mostowymi.

Poziomy zwierciadła wody wyznaczane są w przekrojach poprzecznych rzeki, które są pomierzone geodezyjnie. Przekroje korytowe rzeki są uzupełniane przekrojami



II. 3.9. Profil zwierciadła wody, odpowiadający $Q = Q_{1\%}$ na rzece Nysa Kłodzka na obszarze miasta Kłodzko. Linia niebieska reprezentuje profil zwierciadła, kropkowana linia ciągła – dno, a linie przerywane – lewy i prawy brzeg. Pionowe linie ciągłe obrazują konstrukcje mostów, które – jak widać – zdecydowanie piętzą wodę wzdłuż rzeki; są to stare konstrukcje mostowe, w tym jedna kamienna z XVI w.

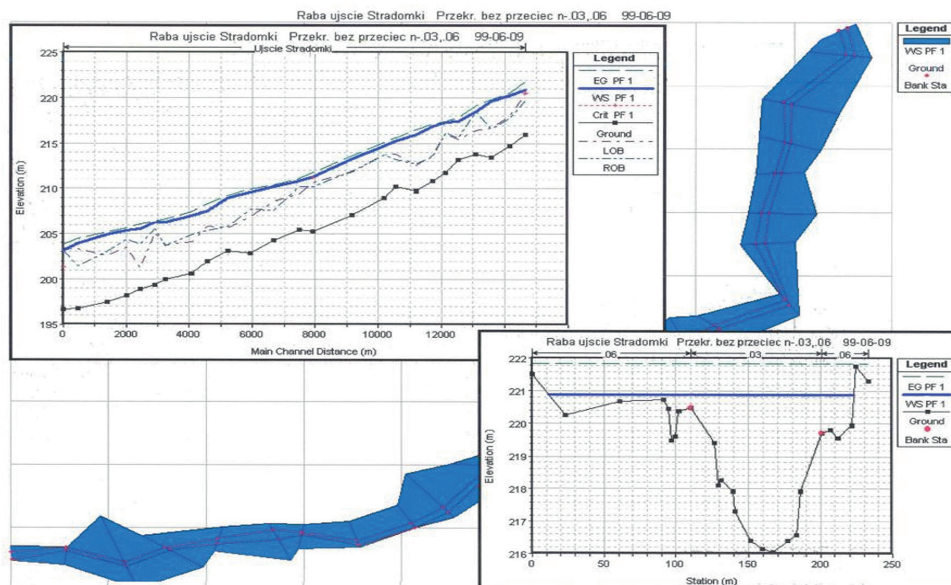
dolinowymi, uzyskiwanymi albo na drodze pomiaru, albo na podstawie układu wysokościowego terenu przybrzeżnego.

W wyniku obliczeń hydraulicznych układu zwierciadła wody, odpowiadającego przepływowi wysokiemu o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia, uzyskujemy rzędne zwierciadła w przekrojach poprzecznych (pomiarowych oraz czasami dodatkowych – interpolowanych w lokalizacjach pośrednich).

Te rzędne zwierciadła wody są poziome w przekrojach poprzecznych i tworzą ukośnokątny, zależny od układu poziomego koryta i doliny rzeki układ powierzchni wody na poziomie zwierciadła przepływu maksymalnego.

Tę procedurę obliczeń i ich wyników zaprezentowano schematycznie na ilustracji 3.10, gdzie pokazano rzuty poziome powierzchni zwierciadła wody.

Dalsza część postępowania związana jest z procedurą „przecięcia” powierzchni wody, na poziomie zwierciadła wody w rzece, z naturalnym układem wysokościowym terenu przybrzeżnego. Nie jest to zabieg prosty, gdyż wymaga modelowania przestrzennego w GIS oraz interpretacji i korekty eliminującej błędy. Wyrównana linia przecięcia wyznacza zasięg zalewu.



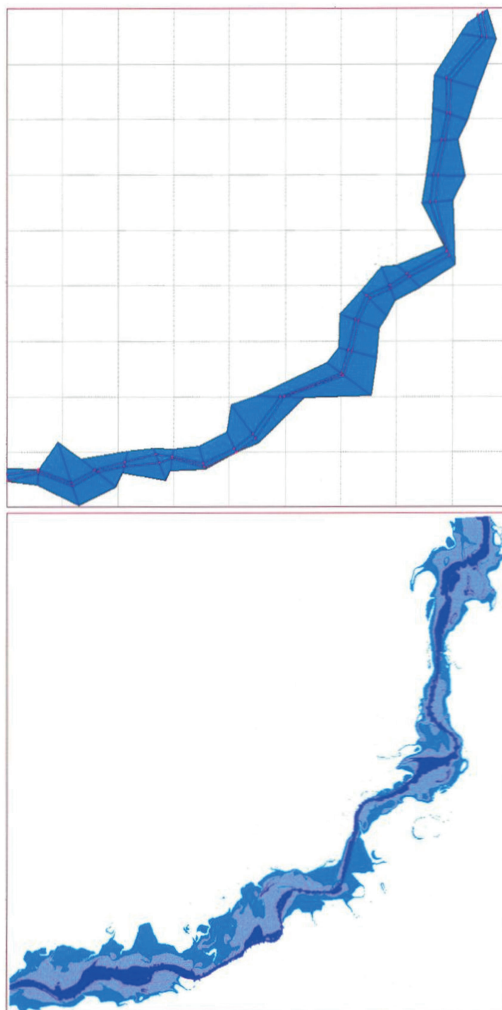
Il. 3.10. Schemat wyznaczania układu zwierciadła wody powodziowej na odcinku rzeki, na podstawie przekrojów poprzecznych i obliczeń hydraulicznych, którego końcowym etapem jest układ 3D zwierciadła wody, pokazany w planie poziomym

Ilustracja 3.11 pokazuje schematycznie tę procedurę, mającą na celu uzyskanie „surowej” linii zasięgu zalewu przez automatyczne przecięcie powierzchni zwierciadła wody (ilustracja lewa) z układem topograficznym terenu (ilustracja prawa), bez korekty błędów i eliminacji oczek wodnych poza zasięgiem zalewu.

Jest to podstawa oceny zagrożenia powodziowego, która co do zasady nie uległa zmianie, ale została dostosowana do obecnych możliwości bazodanowych oraz technologicznych, zarówno w zakresie modelowania rozwoju powodzi, jak i analiz przestrzennych w środowisku GIS oraz interpretacji ich wyników.

W tym miejscu należy odnieść się do wpływu dokładności posiadanego numerycznego modelu terenu NMT (DTM – *Digital Terrain Model*) na dokładność odwzorowania zasięgu strefy zagrożenia powodziowego. Ogólnie można stwierdzić, że im teren jest bardziej płaski (środkowa i północna część kraju), tym dokładniejsze powinno być odwzorowanie NMT, zwłaszcza w odniesieniu do wartości i położenia rzędnej pionowej. Wynika to z faktu, że na płaskim terenie błąd rzędnej pionowej rzędu 10-50 cm może generować różnice w zasięgu strefy od kilku do kilkunastu (kilkudziesięciu) metrów. Dokładność wysokościowa NMT dla terenów przybrzeżnych rzek odpowiada średniokwadratowemu błędowi rzędu 10-15 cm. Dokładność pozioma jest znacznie wyższa, co jest uzasadnione metodą i techniką pomiaru.

Jednak to zagadnienie jest bardziej złożone, ponieważ obecnie na podstawie modelu DTM wyznaczane są numerycznie dolinowe przekroje rzek i potoków,



II. 3.11. Efekt przecięcia płaszczyzn zwierciadła wody (schemat lewy) z układem wysokościowym terenu koryta i doliny rzeki (schemat prawy), bez uwzględnienia weryfikacji zasięgu zalewu

dowiązywane do ich przekrojów korytowych. Jest to związane z wysoką gęstością przekrojów obliczeniowych we współczesnych komputerowych modelach hydraulicznych, uwzględniających zarówno pełną zabudowę koryta rzeki, jak i zróżnicowane zagospodarowanie terenów zalewowych w ujęciu przestrzennym. Biorąc pod uwagę takie uwarunkowania, należy umieć ocenić wpływ dokładności pomiarów terenowych i odwzorowania DTM oraz ich łącznego wpływu na ostateczny wynik zasięgu i struktury głębokościowej strefy zalewu powodziowego. Od tego zależy nie tylko ocena poziomu zagrożenia, ale w konsekwencji trafność wyboru rozwiązań w celu ograniczenia tego zagrożenia, a także środków inwestycyjnych do ochrony przed powodzią.

3.3.2. OBECNIE OBOWIĄZUJĄCE ZASADY OCENY ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Aktualnie trwające prace nad ocenami zagrożenia i ryzyka powodziowego, odpowiadają wymaganiom nowego rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 4 października 2018 r. w sprawie **opracowywania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego** (Dz.U. 2018, poz. 2031). Jest to związane z wprowadzeniem w 2017 r. reformy gospodarki wodnej i nowej ustawy Prawo wodne [65]. Jednak nowe uregulowania prawne nie odbiegają w zasadniczej kwestii od poprzedniego rozporządzenia Ministra Środowiska, Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Ministra Administracji i Cyfryzacji oraz Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 21 grudnia 2012 r. w **sprawie opracowywania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego** (Dz.U. 2013, poz. 104).

Jest to istotne, ponieważ poniżej prezentujemy obowiązujące obecnie oceny i ich efekty w postaci map. Prace nad ich weryfikacją na potrzeby planowania w obecnym, II cyklu planistycznym aktualnie wciąż trwają.

Cytując dokumenty rządowe: „**głównym celem oceny zagrożenia powodziowego jest opracowanie map zagrożenia powodziowego (MZP)**, które zostały sporządzone dla obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi, wskazanych we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego (WORP)”.

Mapy zagrożenia powodziowego (a także mapy ryzyka powodziowego) zostały opracowane w ramach projektu Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK) przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB – Centra Modelowania Powodzi i Suszy w Gdyni, Poznaniu, Krakowie i we Wrocławiu.

W dniu 22 grudnia 2013 r. mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego zostały opublikowane na Hydroportalu MZP i MRP w formie plików .pdf. W 2014 r. mapy podlegały sprawdzaniu i weryfikacji, a uwagi zgłaszane przez organy administracji zostały rozpatrzone i w uzasadnionych przypadkach uwzględnione. Są one dostępne pod adresem: <http://mapy.isok.gov.pl>.

ZAKRES PROWADZONYCH OCEN

Na mapach zagrożenia powodziowego przedstawiono obszary o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi. Są to:

- 1) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest niskie i wynosi raz na 500 lat ($Q_{0,2\%}$),
- 2) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi raz na 100 lat ($Q_{1\%}$),
- 3) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest wysokie i wynosi raz na 10 lat ($Q_{10\%}$),

- 4) obszary zalane na skutek awarii obiektów przeciwpowodziowych dla prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi raz na 100 lat (1%); rozważane warianty awarii obejmują:
- zniszczenie lub uszkodzenie wału przeciwpowodziowego,
 - zniszczenie lub uszkodzenie wału przeciwsztormowego (budowli ochronnych pasa technicznego).

Ponadto, na mapach zagrożenia powodziowego przedstawiono głębokości wody oraz prędkość wody i jej kierunki przepływu, wyłącznie na obszarach miast wojewódzkich i miast na prawach powiatu oraz innych, o liczbie mieszkańców przekraczających 100 000 osób.

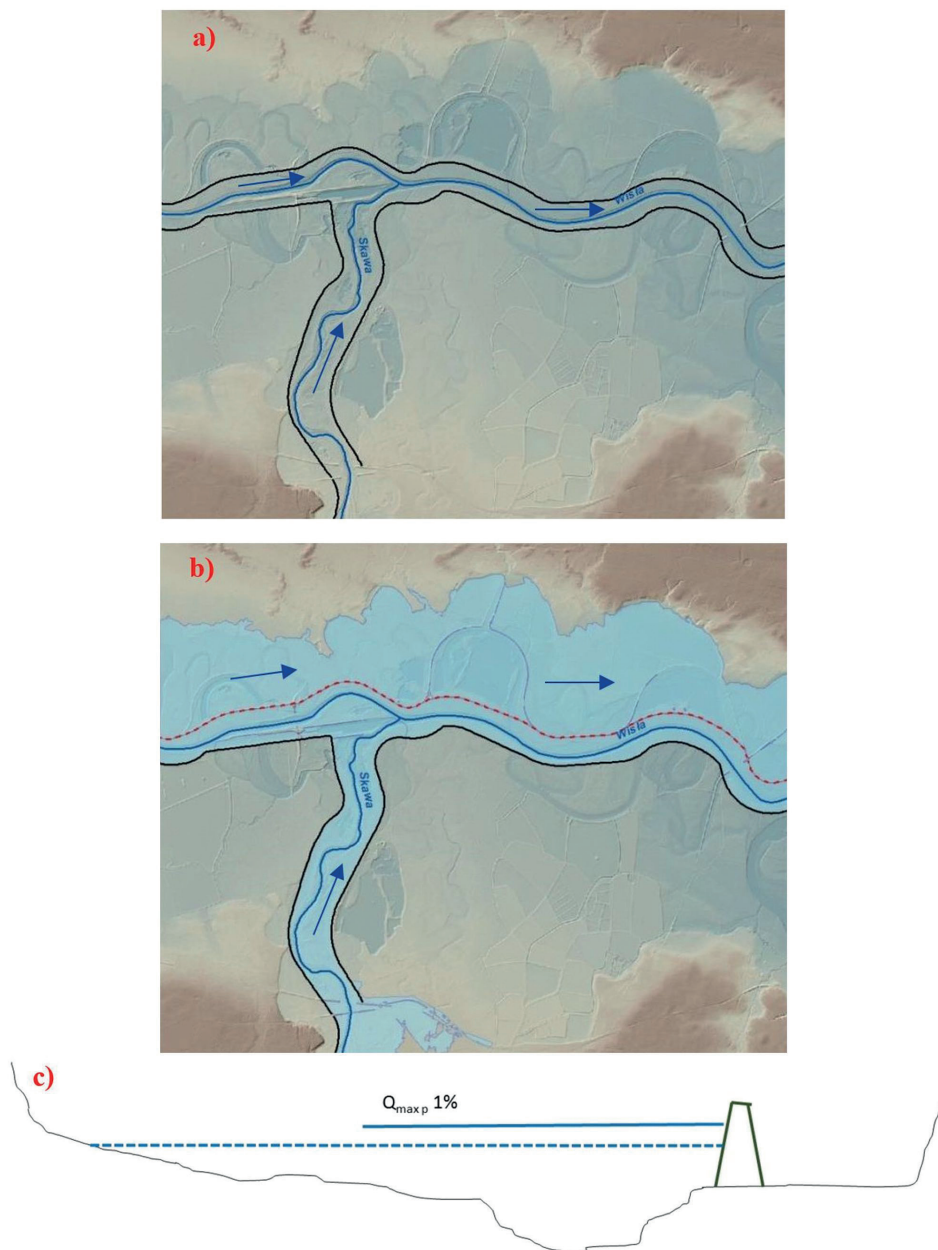
Poprzednie i obecne ustawy Prawo wodne [65] w powyższym zakresie obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi wyróżniają **obszary szczególnego zagrożenia powodzią**, do których zaliczono:

- **obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi raz na 100 lat (1%)**, które dotyczą przede wszystkim rzeki swobodnie płynącej,
- **obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest wysokie i wynosi raz na 10 lat ($Q_{10\%}$)**, które dotyczą przede wszystkim rzeki swobodnie płynącej,
- **obszary między linią brzegu rzeki a wałem przeciwpowodziowym lub naturalnym wysokim brzegiem, w który wbudowano wał przeciwpowodziowy**, a także wyspy i przymuliska, co dotyczy przede wszystkim rzek obwałowanych,
- **przymorski pas techniczny** chroniony wałem przeciwsztormowym.

Jest to istotna szczegółowa klasyfikacja, która między innymi jest podstawą dodatkowych analiz, obejmujących zniszczenie wału przeciwpowodziowego lub wału przeciwsztormowego.

Przelanie wody ponad koronę wału przeciwpowodziowego w czasie powodzi na ogół zawsze prowadzi do jego uszkodzenia i przerwania. Uszkodzenia i przerwania tych budowli następują także z powodu ich złego stanu technicznego – zwykle lokalnie. Problem polega na tym, że nie możemy przewidzieć dokładnej lokalizacji takiej katastrofy, dlatego dokonuje się analizy całkowitego zniszczenia obwałowania, tak aby określić zasięg możliwego zalania na obszarze, na którym taka katastrofa może się zdarzyć. Na bazie tej analizy określamy obwiednię zasięgu zalania wywołaną katastrofą obwałowania. Przedstawiono to schematycznie na ilustracji 3.12 na przykładzie lewostronnego wału przeciwpowodziowego Wisły.

Jest to powszechnie przyjęta w analizach potencjalnego zagrożenia zasada, aby być przygotowanym na szybką interwencję oraz ewakuację ludności i majątku w czasie wystąpienia powodzi.



II. 3.12. Schemat postępowania dla oceny skutków zniszczenia lewostronnego wału przeciwpowodziowego rzeki Wisły: a) odcinki Wisły i Skawy zamkniętewałami przeciwpowodziowymi; b) obwiednia zalewu powodziowego wyznaczonego na podstawie całkowitego zniszczenia (zniknięcia) wału przeciwpowodziowego; c) obniżone zwierciadło wody w poprzecznym przekroju Wisły (linia przerywana) na skutek „zniesienia” lewostronnego wału przeciwpowodziowego. Źródło: <http://mapy.isok.gov.pl> (dostęp: 9.06.2020)

PODSTAWOWA BAZA INFORMACYJNA

Gdy mówimy o obszarach, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi wynosi na przykład 1% (czyli raz na 100 lat), należy przez to rozumieć, że do obliczeń wykorzystano wartość maksymalnego przepływu wody o prawdopodobieństwie wystąpienia równym 1%. Przepływy te oblicza się na podstawie wartości maksymalnych przepływów rocznych, obserwowanych w wieloleciu (z okresu co najmniej 30 lat) w danym przekroju wodowskazowym rzeki. Przepływ maksymalny o prawdopodobieństwie wystąpienia 1% oznacza, że statystycznie takie natężenie przepływu może pojawić się w danym przekroju raz na 100 lat. Nie oznacza to, że powódź o prawdopodobieństwie wystąpienia 1% występuje w odstępach stuletnich. Należy pamiętać, że jest to wielkość statystyczna, bazująca na danych historycznych.

Przedstawione na mapach obszary zagrożenia powodziowego uzyskano w wyniku matematycznego modelowania hydraulicznego rozwoju powodzi w systemie rzeczonym. Zasady takiego podejścia, poprzedzone opisem podstawowych charakterystyk rzecznych, przedstawiono w Aneksie na końcu niniejszego podręcznika, dlatego tutaj przytoczono jedynie podstawowe informacje bazodanowe, podstawy analizy oraz zasady prezentacji kartograficznej.

Proces modelowania hydraulicznego rozwoju powodzi oparto na opisie odcinków rzek przez ich przekroje poprzeczne, osadzenia terenów przyległych w numerycznym modelu terenu, a także wykorzystując opis ich zagospodarowania oraz dane hydrologiczne stanowiące podstawę wyznaczenia przepływów prawdopodobnych.

W procesie modelowania wykorzystano dane przestrzenne pozyskane metodą lotniczego skaningu laserowego, opracowane w postaci numerycznego modelu terenu, którego dokładność wysokościowa sięga 10-15 cm. Numeryczny model terenu (NMT) został zintegrowany z ortofotomapą, opracowaną na podstawie zdjęć lotniczych i satelitarnych, a także z pomierzonymi w terenie przekrojami poprzecznymi rzek.

Drugą poważną operacją było przygotowanie specyfikacji kartograficznej, która objęła pełny opis wizualizacji kartograficznej. Dotyczy on specyfikacji bazy danych o terenie (BDOT), bazy danych wysokościowych, bazy danych wynikowych oceny zagrożenia powodziowego, a także ich graficznych prezentacji na mapach.

Dla lepszej percepcji wyników oceny zagrożenia powodziowego w postaci map zagrożenia powodziowego, zaprezentowanych w rozdziale 3.3.3, poniżej przytoczono istotne oznaczenia kartograficzne, które są uwidocznione na każdym z arkuszy map zagrożenia powodziowego. Reprezentują one jednocześnie parametry stanu i dynamiki zalewu powodziowego.

Przedstawiono jedynie wybrane oznaczenia, ale podstawowe dla identyfikacji położenia, a także rzędnych zwierciadła wody w rzece, na przykład na tle wysokości korony obwałowania, a także dla wizualnej oceny struktury zalewu zarówno w zakresie jego głębokości, jak i prędkości przepływu wody.

Oznaczenia dotyczące struktury głębokości zalewów oraz prędkości przepływu:

 72,56	maksymalna rzędna zwierciadła wody		sieć rzeczna
 75,15	rzędna korony wału przeciwpowodziowego		głębokość wody w [m]
 50	kilometr rzeki		$h \leq 0,5$
	kierunek przepływu wody		$0,5 < h \leq 2,0$
	obszar szczególnego zagrożenia powodziowego		$2,0 < h \leq 4,0$
	wody powierzchniowe		$h > 4,0$
	wał przeciwpowodziowy		prędkość przepływu wody w [m/s]
	miejsca przelania się wód w szczególności przez wał przeciwpowodziowy		$v \leq 0,5$
	miejsce hipotetycznego zniszczenia lub uszkodzenia wału przeciwpowodziowego		$0,5 < v \leq 1,0$
			$1,0 < v \leq 2,0$
			$v > 2,0$

II. 3.13. Główne atrybuty legendy na MZP dotyczące charakterystyki tego zagrożenia

3.3.3. WYBRANE WYNIKI OCENY ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO NA OBSZARZE KRAKOWA

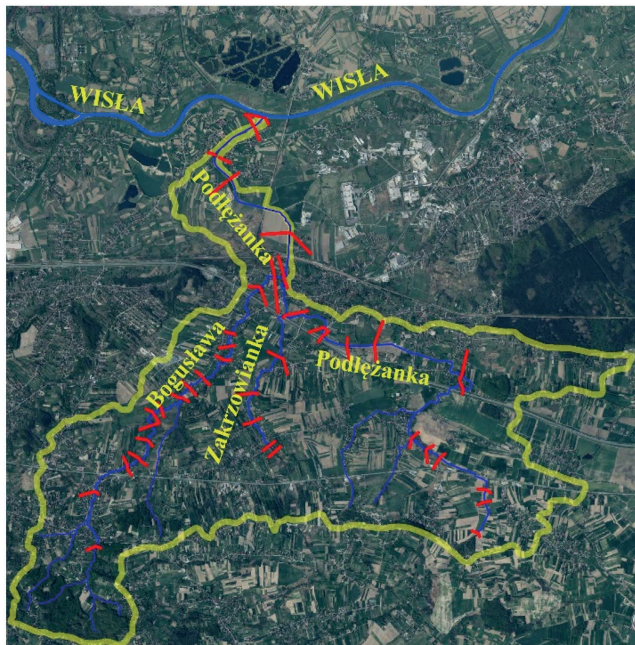
Aby zilustrować procedurę tej oceny, prowadzącą do mapowania zagrożenia powodziowego, oraz efekty oficjalnego mapowania, w tej części zaprezentowano:

- wybrane elementy analizy kartograficznej zagrożenia, począwszy od przekrojów poprzecznych, przez numeryczny model terenu, po wrysowany zasięg zagrożenia, na przykładzie dopływu Wisły z okolic Krakowa,
- przykłady oceny mapowej na podstawie oficjalnych map zagrożenia powodziowego, udostępnionych na portalu: <http://mapy.isok.gov.pl>.

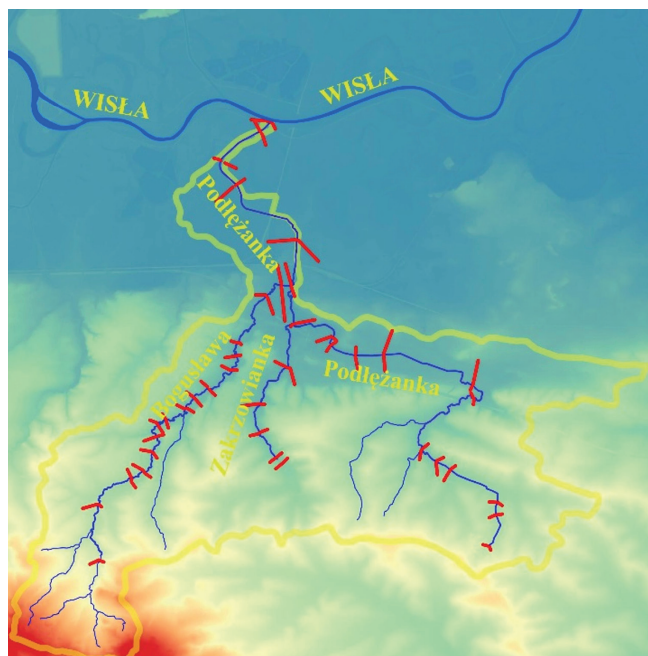
Wybrano lokalną ocenę zagrożenia na przykładzie rzeki Podłężanki, prawostronnego dopływu Wisły we wschodniej części Krakowa (przypadek a), oraz ocenę zagrożenia, jakie stwarza sama Wisła na odcinku obejmującym ujście rzeki Podłężanki (przypadek b). Takie zestawienie pozwala dodatkowo ocenić możliwości powiązania tych zagrożeń, jeśli są one opracowane odrębnie.

Rzeka Podłężanka

Na ilustracji 3.14 przedstawiono rzekę Podłężankę wraz z dopływami na tle jej zlewni. Podłężanka uchodzi do Wisły poniżej stopnia wodnego Przewóz.



II. 3.14. Zlewnia Podleżanki oraz lokalizacja przekrojów poprzecznych (linie w kolorze czerwonym) stanowiących podstawę modeli hydrodynamicznych



II. 3.15. Obszar modelu hydrodynamicznego na tle układu wysokościowego

Jak opisano powyżej, podstawą analizy zagrożenia powodziowego jest odwzorowanie przepływu rzeczno-geodezyjnego w warunkach powodziowych na bazie pomiarowych przekrojów rzeki i jej doliny. Ilustracja 3.14 pokazuje te przekroje w układzie sytuacyjnym na tle ortofotomapy, a ilustracja 3.15 na tle układu wysokościowego zlewni.

W celu wyznaczenia obszarów zagrożonych powodzią konieczne było wykonanie geodezyjnych przekrojów poprzecznych rzek (czerwone linie), które stanowiły bazę do budowy modeli hydrodynamicznych, opartych na równaniach rozwoju powodzi (Aneks). Każdy z modeli podlegał kalibracji, czyli poszukiwaniu wartości parametrów oporu przepływu, które dają zgodność modelowania z pomierzonymi rzędnymi zwierciadła wody dla określonych (danych) wartości przepływu. Te parametry oporu są reprezentowane przez współczynniki szorstkości, które są szacowane na podstawie topografii i pokrycia terenu.

Dla systemu rzeczno-geodezyjnego Podłęzanki opracowano model rozwoju powodzi z uwzględnieniem zwierciadła wody rzeki Wisły w przekroju ujściowym, ponieważ w każdym przypadku przepływu rzeka Wisła podpiętrza ujściowy odcinek rzeki Podłęzanki.

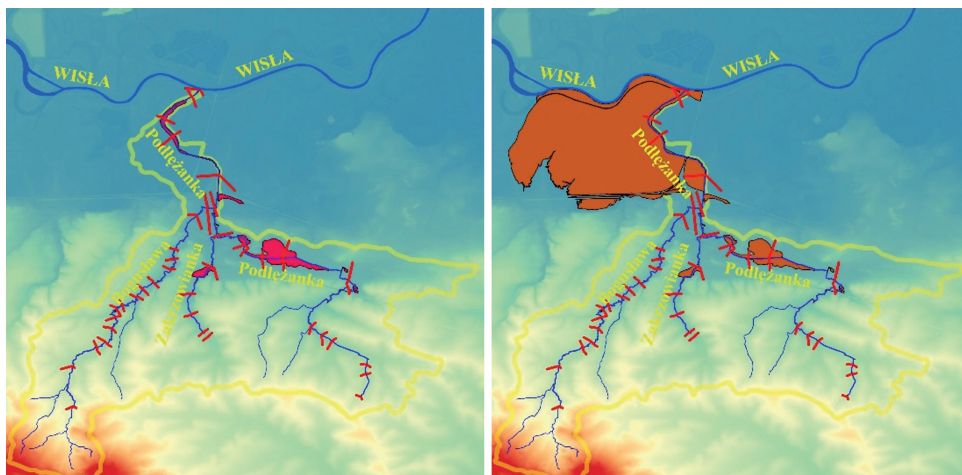
Dopiero po kalibracji modeli (zob. Aneks) można przystąpić do właściwych obliczeń dla przyjętych scenariuszy powodziowych, które określają wartości przepływów prawdopodobnych w systemie rzeczno-geodezyjnym Podłęzanki oraz stany wody (wysokości zwierciadła wody) na Wiśle w ujściu Podłęzanki, związane z warunkami powodziowymi na Wiśle.

Jako podstawę oceny przyjęto warunki powodzi 1% na Podłęzance, która może się rozwijać przy:

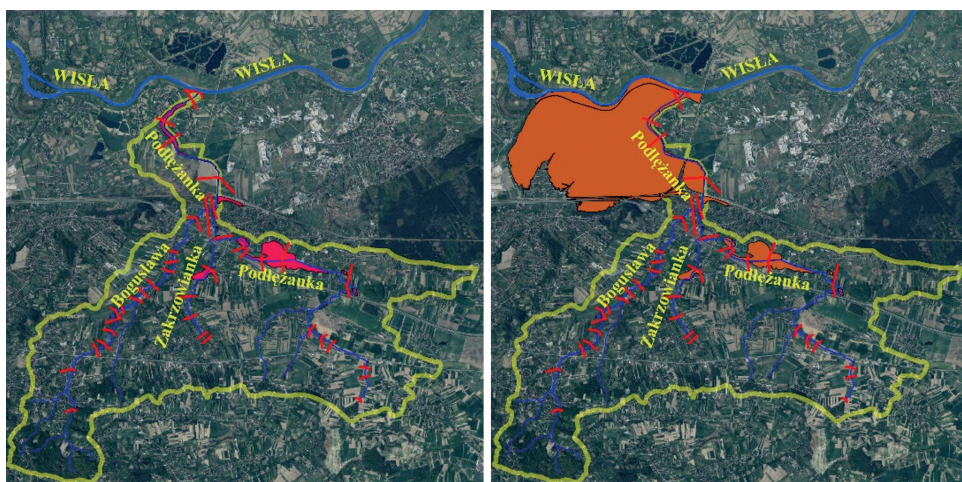
- 1) niższym stanie wody na Wiśle (przy rzędnej 190,70 m n.p.m.), który odpowiada przepływowi $Q_{10\%}$ na Wiśle i umożliwia swobodny odpływ wód powodziowych z Podłęzanki,
- 2) lub przy wysokim stanie wody na Wiśle (z rzędną 197,00 m n.p.m.), który odpowiada przepływowi $Q_{1\%}$ na Wiśle i znacząco wpływa na rzędne wód powodziowych z Podłęzanki.

Uzyskane wyniki obliczeń ułożenia zwierciadła wody na długości rzek były następnie nanoszone na numeryczny model terenu zlewni (il. 3.15), co pozwoliło określić obszar zajęty przez wodę i strukturę tego zalewu.

Poniżej, na ilustracjach 3.16 i 3.17 (w układzie wysokościowym i sytuacyjnym ortofoto), przedstawiono końcowy wynik oceny zasięgu zagrożenia powodziowego w systemie rzeczno-geodezyjnym Podłęzanki dla przepływu $Q_{1\%}$. Na każdej z tych ilustracji zaprezentowano oba scenariusze rzędnej stanu wody na Wiśle, niższy i wysoki. Obrazy po lewej stronie odnoszą się do sytuacji, kiedy odpływ korytem Podłęzanki odbywa się przy niższym stanie zwierciadła wody na Wiśle (przypadek 1). Jak widać, zwierciadło wody dla tej sytuacji mieści się w obwałowaniu cofkowym – ujściowym rzeki Podłęzanki, a występujące zalewy (zaznaczone kolorem czerwonym) są zlokalizowane w środkowym biegu Podłęzanki i jej dopływu Zakrzownianki. W korycie Bogusławki, z uwagi na ukształtowanie terenu przybrzeżnego, wystąpienie wody z koryta



Il. 3.16. Zasięg stref zagrożenia powodziowego dla $Q_{1\%}$: dla normalnego (niskiego) stanu zwierciadła wody na Wiśle (po lewej) oraz dla powodziowego stanu zwierciadła wody na Wiśle (po prawej) na tle układu wysokościowego zlewni rzeki Podłęzanki



Il. 3.17. Zasięg stref zagrożenia powodziowego dla $Q_{1\%}$: dla normalnego (niskiego) stanu zwierciadła na Wiśle (po lewej) oraz dla powodziowego stanu zwierciadła na Wiśle (po prawej) na tle zagospodarowania terenu

rzeki w zasadzie nie występuje. Obrazy po prawej stronie ilustracji 3.16 i 3.17 odnoszą się do sytuacji, kiedy dla tego samego przepływu $Q_{1\%}$ na modelowanych rzekach zlewni Podłęzanki na Wiśle występuje przepływ powodziowy (o wysokim położeniu zwierciadła wody), co sprawia, że korona lewego wału cofkowego Podłęzanki okazuje się być za niska i dochodzi dodatkowo (w stosunku do wcześniejszego scenariusza) do zalania znacznego obszaru wychodzącego poza granice zlewni Podłęzanki, zlokalizowanego między autostradą A4, Wisłą, Serafą i Podłęzanką.

Należy jeszcze raz podkreślić, że powyższe oceny i ich ilustracje są wynikiem szczegółowej analizy zagrożenia powodziowego wyłącznie Podłęzanki i jej dopływów.

Warto skomentować koincydencję obliczeniowych przypadków przepływów $Q_{1\%}$ i $Q_{10\%}$ na Wiśle i Podłęzance. Na potrzeby granicznych wartości zagrożenia przepływem stuletnim łączy się te przepływy i ich parametry wysokościowe w węźle ujściowym Podłęzanki do Wisły. Z punktu widzenia oceny zagrożenia wodą dziesięcioletnią doliny Podłęzanki, należy również wyznaczyć zasięg jej zalewu, opierając jej rzędną ujściową wody na rzędnej Wisły, odpowiadającej przepływowi stuletniemu ($Q_{1\%}$), ponieważ odwzorowany zostaje efekt wpływu cofki Wisły na część ujściową rzeki Podłęzanki.

Na potrzeby analizy dopuszczalnego zagospodarowania doliny Podłęzanki w warunkach wystąpienia wezbrań powodziowych, warto jednak dokonać „krzyżowych” koincydencji tych przepływów, tak aby maksymalnie wykorzystać funkcjonalność doliny Podłęzanki, na przykład planując tereny rekreacyjne, sportowe i inne, niewymagające dużych nakładów na odbudowę po powodzi występującej raz na wiele lat. Dlatego właśnie problem koincydencji, wiązania wartości przepływów prawdopodobnych w przypadkach rzek głównych i ich dopływów, jest uzależniony od celu takiej analizy i dotyczy każdego tego typu przypadku.

Rzeka Wisła

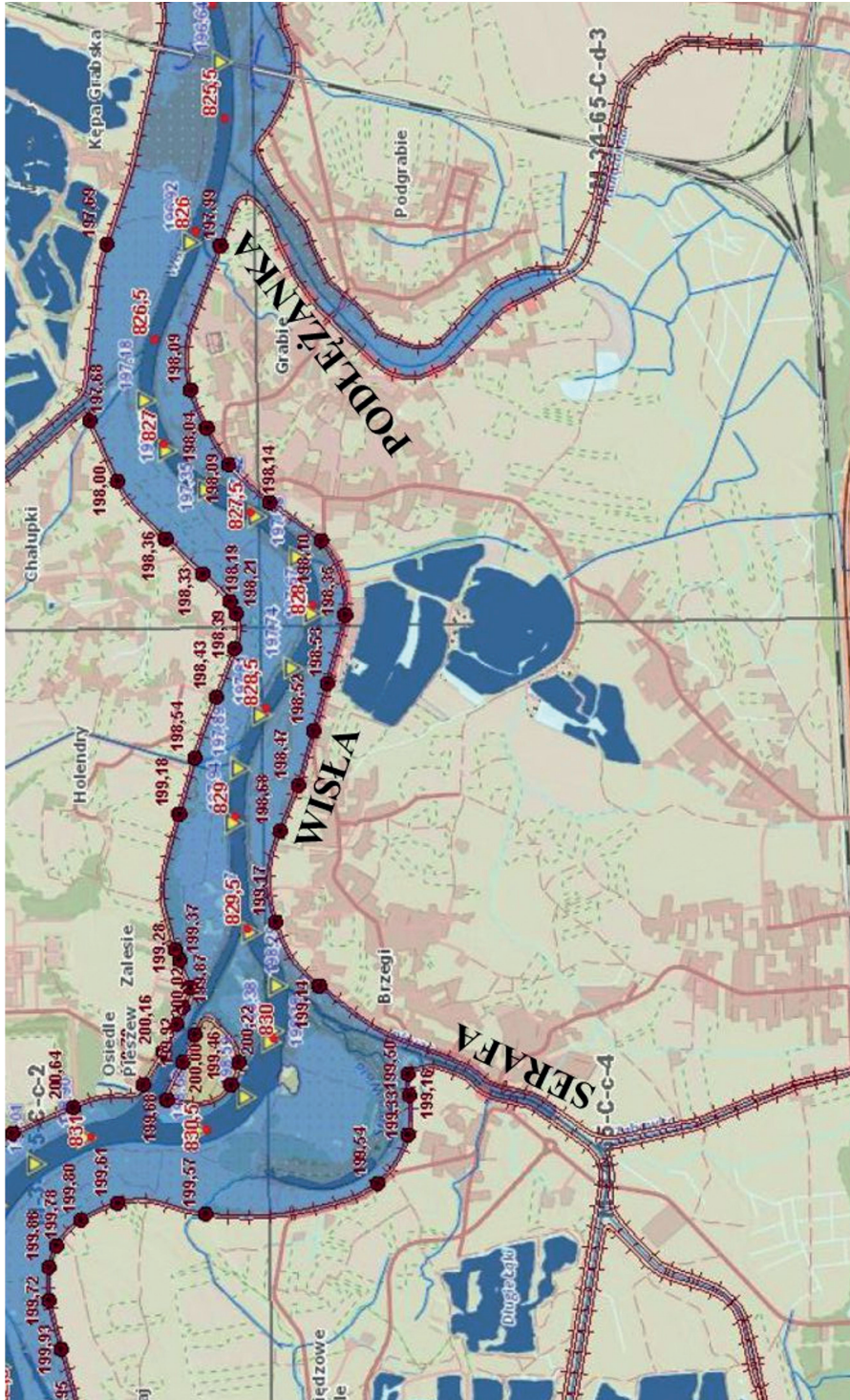
Poniżej, na ilustracjach 3.18 i 3.19, przedstawiono fragmenty map zagrożenia powodziowego dla Wisły między stopniem Przewóz a ujściem Podłęzanki, udostępnione na stronie Hydroportalu (<https://wody.isok.gov.pl>).

Podobnie jak wcześniej przedstawiono wyniki oceny dla $Q_{1\%}$, zakładając scenariusz pierwszy – pełnej ochrony wałami przeciwpowodziowymi, oraz drugi – w przypadku ich zniszczenia. Należy zwrócić uwagę (zob. il. 3.18), że zarówno na prawym wale Wisły między Serafą i Podłęzanką, jak i na lewym wale przeciwpowodziowym Wisły przy ujściu Podłęzanki, wskazane są miejsca (zaznaczone jasnoróżowym kolorem), w których aktualna wysokość obwałowania jest niewystarczająca do skutecznej ochrony przed wodą stuletnią.

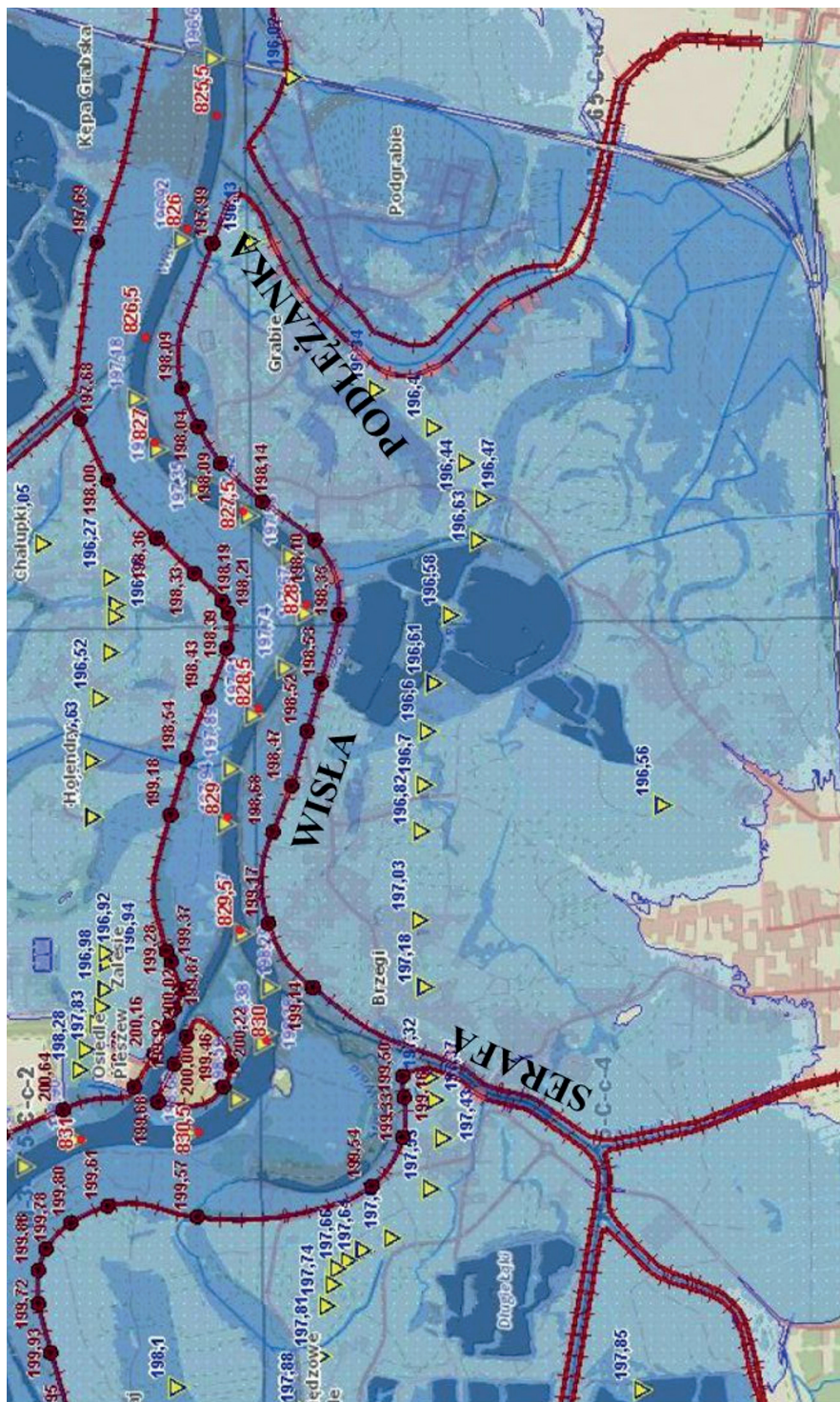
O niebezpieczeństwie i realnym zagrożeniu świadczy ilustracja 3.19, na której przedstawiono scenariusz zalania terenu przy uszkodzeniu obustronnym wałów przeciwpowodziowych na Wiśle, lewego i prawego.

Jeśli teraz zestawimy zasięg zalewu w rejonie ujścia Podłęzanki do Wisły, przedstawiony po prawej stronie na ilustracjach 3.16 i 3.17, prezentujących zagrożenie od strony Podłęzanki, z zasięgiem zalewu od strony Wisły (il. 3.19), to możemy stwierdzić, że zagrożenia te występują odrębnie, czyli:

- może wystąpić zagrożenie od strony Podłęzanki na obszarach chronionych jej obwałowaniami cofkowymi, w przypadku gdy nastąpi jednoczesne wystąpienie przepływu $Q_{1\%}$ na Wiśle i Podłęzance; w tej sytuacji rzędna zwierciadła wody przy ujściu Podłęzanki do Wisły wynosić będzie 197,00 m n.p.m. (aż do mostu w ciągu



II. 3.18. MZP dla Q_{95} na Wiśle. Źródło: https://wody.isok.gov.pl/imap/imap_kzgw/?gmap=gpmz_p (dostęp: 15.06.2020)



Il. 3.19. MZP dla scenariusza uszkodzenia wałów przy Q_{100} na Wisle.
 Źródło: https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/?gmap=gpMZIP (dostęp: 15.06.2020)

ul. Krakowskiej) i będzie się wznosić do rzędnej 197,30 m n.p.m. powyżej mostu kolejowego,

- może wystąpić niezależnie zagrożenie od strony Wisły w wyniku przerwania jej wału przeciwpowodziowego na obszarze chronionym przez obwałowania cokołowe Podłęzanki.

Ta sytuacja pokazuje, jak ważny jest poziom uszczegóławiania zasięgu zagrożenia powodziowego w układzie powiązanych ze sobą rzek, niezależnie od ich wielkości. Ma to kluczowe znaczenie zarówno dla oceny ryzyka powodziowego, jak i planowania w ochronie przed powodzią, a także w planowaniu przestrzennym, w formułowaniu warunków rozwoju dzielnic miasta czy też gmin.

3.4. OCENA RYZYKA POWODZIOWEGO

3.4.1. RYZYKO POWODZIOWE I PODSTAWY JEGO OCENY

Pojęcie ryzyka jest znane od wielu lat, jednak pojęcie **ryzyka powodziowego** stało się popularne na przełomie XX i XXI w. w wyniku dyskusji nad przyszłym zakresem i procedurą wdrażania Dyrektywy Powodziowej [20]. Dyskusja ta była trudna i długa, ponieważ nie dotyczyła definicji ryzyka powodziowego, ale:

- interpretacji jego wartości w kontekście odniesienia tej wartości do obszaru, na którym występuje; problem dotyczył przede wszystkim wielkości i granic obszaru, a także przestrzennej zmienności wartości tego ryzyka i jej rozumienia;
- związanej z powyższym społecznej akceptacji zasad określania ryzyka powodziowego oraz działań w celu jego obniżenia, a nie znacznej lub całkowitej redukcji w oczekiwanym społecznie zakresie.

Jeśli na podstawie definicji ryzyka powodziowego opiszemy je wzorem:

ryzyko powodziowe = wartość strat x prawdopodobieństwo powodzi

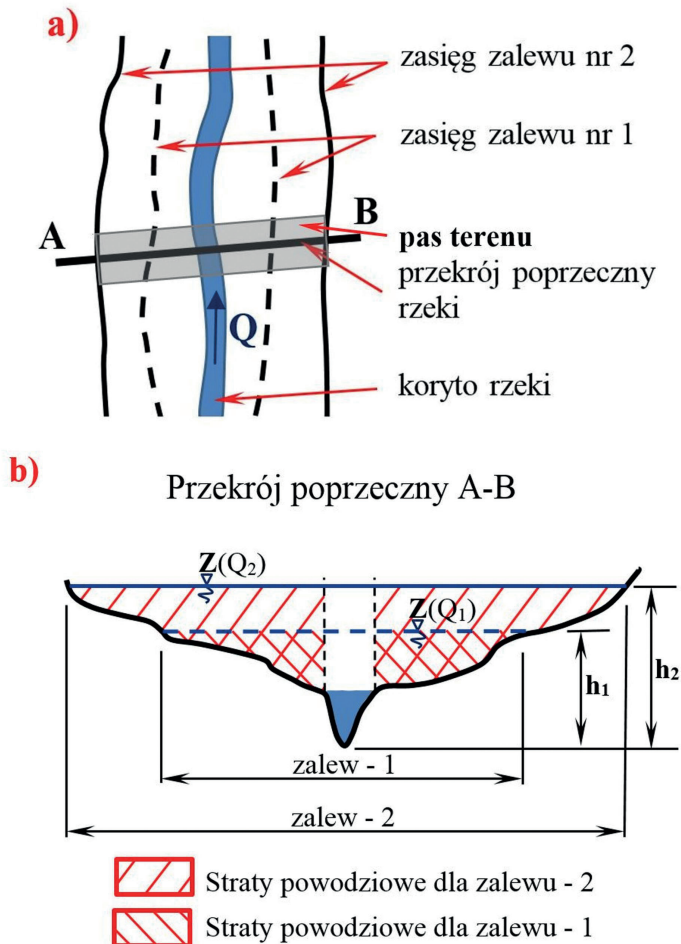
to pojawia się problem dotyczący obszaru, do którego to ryzyko odnosimy, oraz zróżnicowania przestrzennego jego wartości w różnych lokalizacjach tego samego zdarzenia powodziowego.

Aby ułatwić analizę tego zagadnienia, jednostkowe lokalizacje przestrzenne spróbujmy utożsamić z pasami poprzecznymi rzeki i jej doliny, jak to pokazano na ilustracji 3.20. Oznacza to, że obszar w pasie poprzecznym rzeki jest reprezentowany przez określony poziom zwierciadła wody powodziowej w jego centralnej części, a także, że na obszarze tym liczymy straty powodziowe o wartości zależnej od poziomu tego zwierciadła wody, odpowiadającego głębokości wody tworzącej zalew powodziowy.

Analizujemy ryzyko powodziowe wzdłuż danego pasa poprzecznego, oddalając się w prawo i lewo od osi rzeki, gdzie występuje maksymalna głębokość przepływu

(il. 3.20b). Granicę strat minimalnych (zerowych) wyznacza brzeg koryta rzeki, a rosną one co do wartości, oddalając się od niego w kierunku pierwszej i drugiej linii zalewu (il. 3.20a i 3.20b). Wynika to z zasady, że przy brzegu rzeki i w jej korycie głównym straty są minimalne, ponieważ wartość majątku rośnie, oddalając się od brzegu koryta głównego rzeki.

Należy również zwrócić uwagę, że dla linii zalewu nr 1 wartość strat powodziowych, liczona sumarycznie po lewej i prawej stronie przekroju, jest niższa niż wartość tych strat dla większej głębokości h_2 , odpowiadającej zalewowi nr 2. Dzieje się tak dlatego, ponieważ większa głębokość oznacza większe zniszczenia, na przykład zalanie lub wyższe podtopienie budynku, co powoduje większe straty budowlane (nieruchomość) oraz straty w majątku ruchomym.

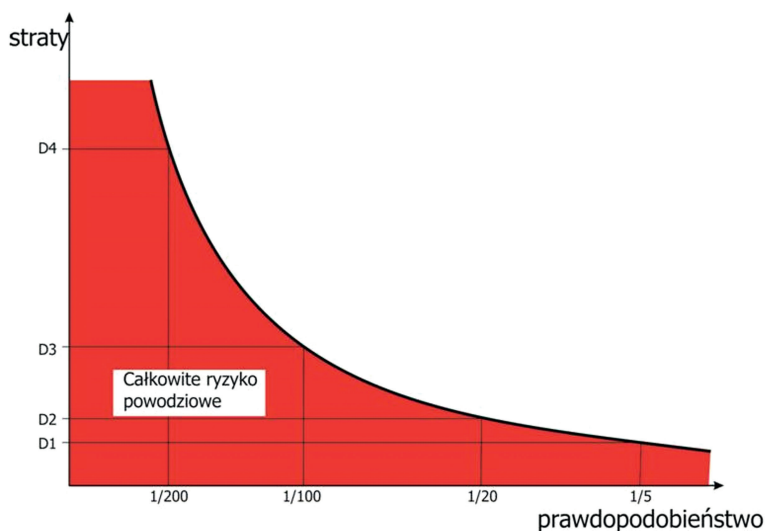


II. 3.20. Schemat przekroju poprzecznego rzeki w granicach zalewów powodziowych do wyznaczania strat powodziowych

Rosnąca głębokość i zasięg zalewu na pewno odpowiada kolejno malejącym poziomom prawdopodobieństwa powodzi, czyli kolejno rosnącym wartościom kulminacji tych powodzi: Q_1 , Q_2 . Pamiętajmy bowiem, że im niższe prawdopodobieństwo powodzi, tym większa wartość przepływu kulminacyjnego.

Na ilustracji 3.21 przedstawiono krzywą wykresu ryzyka powodziowego, w zależności od prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i wartości strat odpowiadających temu prawdopodobieństwu, dla danej lokalizacji przekroju poprzecznego rzeki w uznanej szerokości pasa terenu wokół tego przekroju (jak to pokazano na il. 3.20).

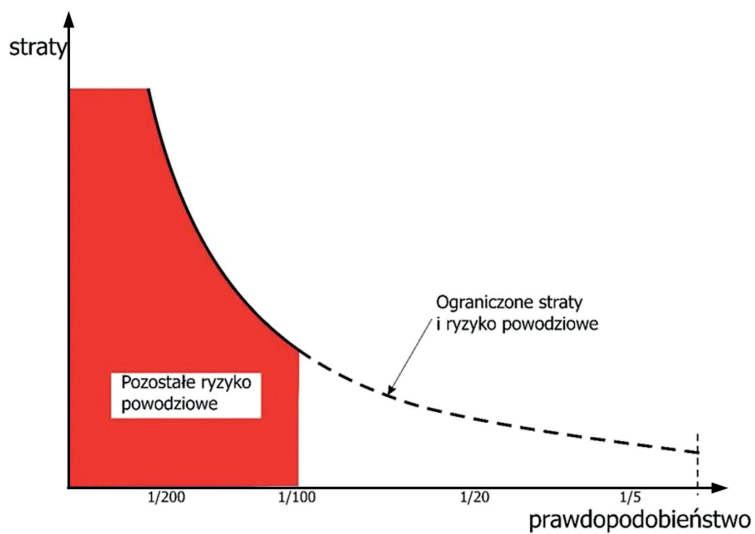
Wartość ryzyka odpowiada całce tej krzywej w granicach od maksymalnej wartości prawdopodobieństwa (prawa granica wykresu) do wybranej lub najniższej wartości prawdopodobieństwa (lewa granica wykresu). Ta całość jest jednoznaczna z wartością powierzchni pod krzywą ryzyka (czerwony kolor), liczonej od strat najwyższych (prawa granica wykresu) do wartości, która „odcina” dane prawdopodobieństwo na wykresie (np. 1/100, 1/200 lub niższe, zmierzające do zera).



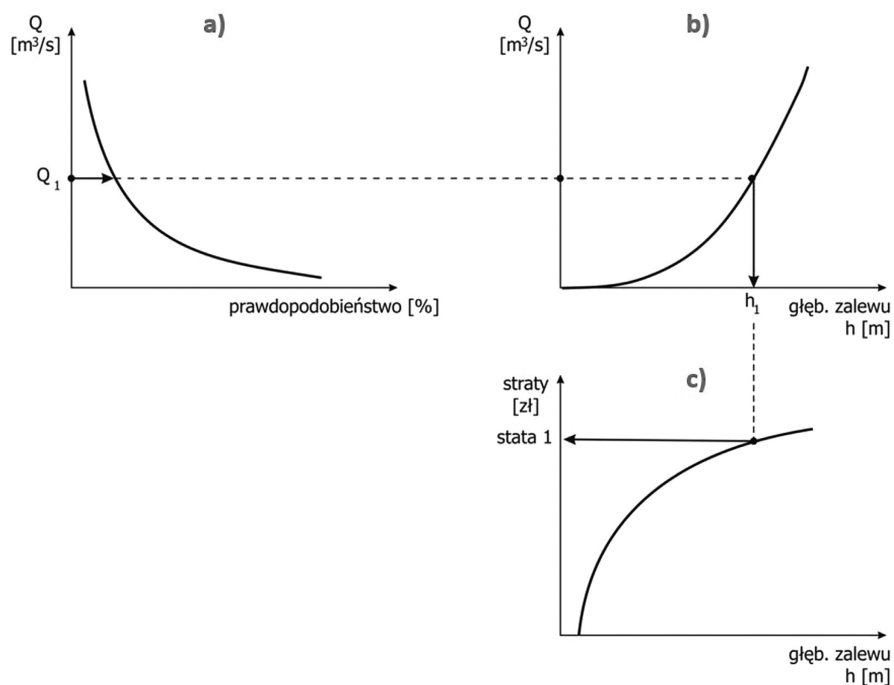
II. 3.21. Krzywa ryzyka powodziowego i jego wartość w danej lokalizacji przekroju poprzecznego rzeki

Jeśli w ramach ochrony przed powodzią przez działania obniżające realne zagrożenie zredukujemy straty, na przykład dla $Q_{\max} = Q_{1\%}$, to krzywa ryzyka powodziowego będzie się przedstawiała jak na ilustracji 3.22. Pozostanie tzw. **ryzyko resztowe**, występujące przy wezbraniach powodziowych, których kulminacja jest wyższa, czyli $Q_{\max} > Q_{1\%}$.

Jaka jest podstawowa zasada wyznaczenia w danym przekroju poprzecznym (na jego obszarze jednostkowym) wartości ryzyka powodziowego dla danej wartości



II. 3.22. Ryzyko pozostałe po wprowadzeniu ochrony na powódź stuletnią



II. 3.23. Schemat postępowania przy wyznaczaniu wartości na krzywej ryzyka powodziowego

prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi prezentuje ilustracja 3.23, na której pokazano schemat postępowania w tym zakresie.

W pierwszej kolejności wyznaczamy krzywą konsumpcyjną naszego przekroju poprzecznego rzeki (il. 3.20), czyli krzywą zależności wartości przepływu Q (wartości kulminacyjne fal powodziowych) od głębokości przepływu (głębokości zalewu). Pokazano ją na ilustracji 3.23b, a opisano w Aneksie. Następnie, dla danej wartości prawdopodobieństwa zagrożenia wyznaczamy wartość przepływu kulminacyjnego odpowiadającego temu prawdopodobieństwu (il. 3.23a). Trzeci wykres (il. 3.23c) przedstawia krzywą strat powodziowych w tym przekroju, w zależności od głębokości przepływu (zob. też il. 3.20b).

Następnie, dla danego prawdopodobieństwa ryzyka powodziowego odczytujemy wartość odpowiadającego mu przepływu Q_1 (il. 3.23a) i na tej podstawie określamy głębokość przepływu h_1 (il. 3.23b), a w konsekwencji wartość straty powodziowej – strata 1 (il. 3.23c). Jeśli tę operację przeprowadzimy dla kolejnych wartości prawdopodobieństwa ryzyka (zagrożenia), otrzymamy w rezultacie krzywą ryzyka powodziowego (jak na il. 3.21 lub 3.22).

Przykład ten pokazuje, jak w praktyce złożona jest procedura wyznaczania wartości ryzyka powodziowego i jak trudna jest jego interpretacja na większym obszarze. Dotyczy to zwłaszcza terenów o zróżnicowanym przestrzennie układzie wysokościowym, zagospodarowaniu i zabudowie.

Dodatkowo musimy sobie uzmysłwić, że dokładność odwzorowania strat powodziowych jest zależna od poziomu szczegółowości analizy. Na przykład, jeśli szkody dotyczą budynku mieszkalnego czy też publicznego, to dokładność określenia strat zależy od zakresu szkód, które te straty tworzą. Zależy to zatem od tego, czy uznajemy jedynie nieruchomości, czy też wyposażenie, a może także rzeczy osobiste.

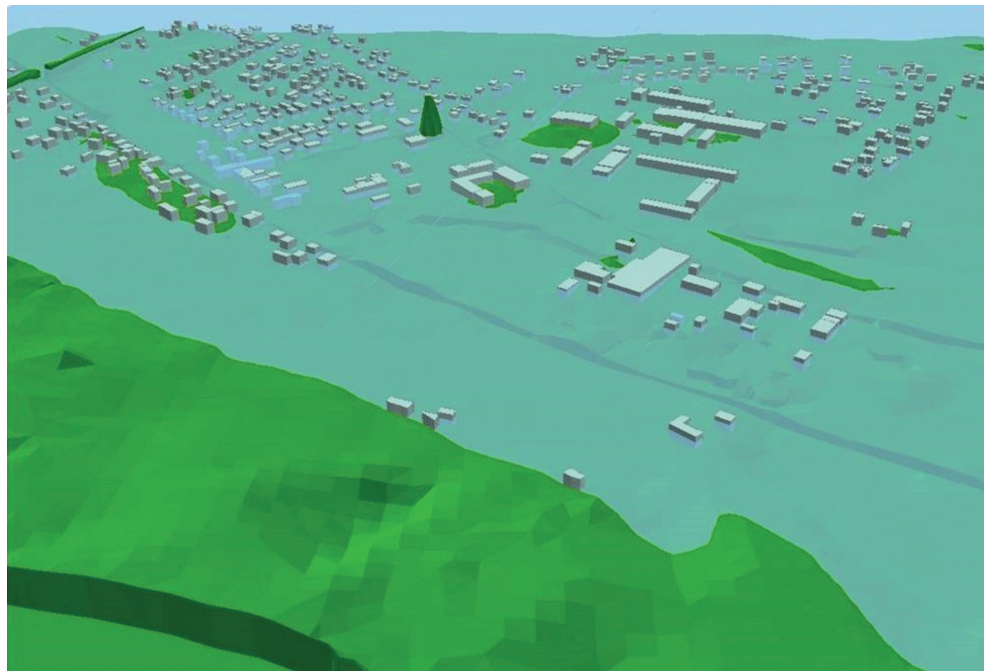
Jeśli poszerzymy jednostkową szerokość przypisaną przekrojowi rzeki, to pojawia się pytanie, ile i które budynki zaliczamy do szkód. A co z drogami, wodociągiem, kanalizacją i piwnicą, na jaką głębokość występuje zalew, czy wszystkie budynki są podtopione na tę samą wysokość itd. Na ilustracji 3.24 pokazano w układzie 3D przykładowe podtopienia i zatopienia budynków w tym właśnie kontekście.

Ogólnie obowiązuje zasada, że im bardziej szczegółowo potraktuje się problem, tym lepiej oszacuje się ryzyko powodziowe. Przedstawia to symbolicznie ilustracja 3.25, na której powiązано dokładność oceny z wielkością obszaru zainwestowania, w kontekście poziomu wysiłku przy szacowaniu strat powodziowych.

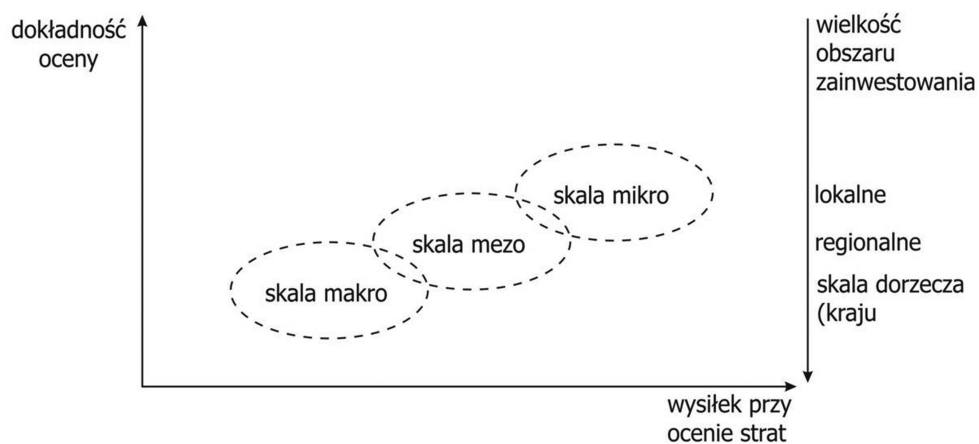
Jest to zasada ogólna i poprawna, ale trudna do realizacji, zwłaszcza jeśli kategorie szkód powodziowych nie są lub są trudno porównywalne, a tym samym ich wycena nie jest w pełni uzasadniona.

To właśnie leżało u podstaw tej trudnej i długiej dyskusji, która doprowadziła do zbliżenia poglądów i interpretacji ryzyka powodziowego do obecnego zakresu analizy. Dotyczyło to zarówno warunków rzeczywistych (WORP), jak i potencjalnego zagrożenia, przedstawionego na mapach zagrożenia i ryzyka powodziowego (MZP

i MRP). Wykorzystano również fakt, że nie istnieje dobry sposób bezwzględnej wyceny majątku, zdrowia i życia, dóbr kulturalnych, substancji zabytkowej i innych elementów kształtujących wysokość poziomu ryzyka powodziowego.



II. 3.24. Budynki podtopione (zatonione) w różnym stopniu podczas powodzi



II. 3.25. Zależność dokładności oceny strat powodziowych od wielkości obszaru, z zaznaczeniem poziomu wysiłku, który musi być tutaj uwzględniony

3.4.2. ZAKRES OCENY RYZYKA POWODZIOWEGO NA POTRZEBY PRZYGOTOWANIA MAP RYZYKA POWODZIOWEGO

Zdecydowano, że – podobnie jak mapy zagrożenia powodziowego (MZP) – również mapy ryzyka powodziowego (MRP) są głównym końcowym produktem oceny, ale muszą objąć różne kategorie szkód powodziowych, które są traktowane odrębnie. Mamy zatem MZP – końcowy pakiet oceny zagrożenia powodziowego, oraz MRP – końcowy produkt oceny ryzyka powodziowego.

Aby MRP był praktycznym produktem, użytecznym w planowaniu zarządzania ryzykiem, musi on spełniać następujące wymagania:

- 1) mapa ryzyka powodziowego (MRP) musi być zintegrowana z mapą zagrożenia powodziowego (MZP), tak aby widoczne szkody/straty powodziowe ograniczone były do zasięgu zalewu,
- 2) MRP muszą być zintegrowane z numeryczną bazą danych o obiektach wchodzących w zakres oceny ryzyka powodziowego i struktury głębokości zalewu, tak aby można było każdy z nich identyfikować,
- 3) MRP muszą być opracowane w systemie GIS wyposażonym w narzędzia analityczne, tak aby można było:
 - selekcjonować wybrany obszar analizy,
 - określać podstawowe jego charakterystyki (położenie, przynależność administracyjną, charakter tej przynależności – do najniższej w hierarchii jednostki) oraz cechy, takie jak struktura przestrzenna głębokości zalewu, obwód, powierzchnia w podziale na rodzaje użytkowania terenu itd.,
 - a także dokonywać analiz algebraicznych na mapach, dotyczących wydzielenia wybranego lokalnego podobszaru i określenia dla niego na przykład liczby zagrożonej ludności, struktury wiekowej tej ludności, liczby zagrożonych budynków z określeniem ich rodzaju czy długości odcinków dróg z ich klasyfikacją,
- 4) wymaganiom tym powinien być przyporządkowany dostęp do bazy danych, tak aby można było je wykorzystać w kształtowaniu polityki w zagospodarowaniu przestrzennym, społecznej, środowiskowej, czyli ogólnie w zakresie polityki rozwoju; oczywiście bezpośredni i powszechny dostęp do informacji zapewnia publikacja tych map w formacie .pdf.

Przy powyższych uwarunkowaniach można według potrzeb szacować poziom ryzyka powodziowego na obszarach, na których powinno się to realizować.

Zgodnie z obowiązującym prawem [65], **mapy ryzyka powodziowego (MRP) opracowywane są w dwóch zestawach tematycznych:**

- 1) **zagrożenie dla ludności oraz potencjalne straty powodziowe,**
- 2) **użytkowanie terenu oraz obszary i obiekty o szczególnym znaczeniu kulturowym, przyrodniczym i gospodarczym.**

Dla każdego obszaru zagrożenia powodziowego wykonuje się dwie mapy ryzyka powodziowego w każdym z tych dwóch zakresów.

Zagrożenie dla ludności oraz potencjalne straty powodziowe jest rozumiane w zakresie uwzględniającym:

- 1) szacunkową liczbę mieszkańców, którzy mogą zostać dotknięci powodzią,
- 2) budynki mieszkalne,
- 3) obiekty o szczególnym znaczeniu społecznym, z uwzględnieniem:
 - a) szpitali,
 - b) szkół,
 - c) przedszkoli,
 - d) żłobków,
 - e) hoteli,
 - f) centrów handlowo-usługowych,
 - g) jednostek policji,
 - h) jednostek ochrony przeciwpożarowej,
 - i) jednostek Straży Granicznej,
 - j) domów opieki społecznej, ośrodków opieki społecznej, hospicjów,
 - k) zakładów karnych, zakładów poprawczych, aresztów śledczych,
- 4) wartości potencjalnych strat powodziowych,
- 5) a także elementy układu hydrograficznego z MZP, jednak bez struktury zalewu.

Użytkowanie terenu oraz obszary i obiekty o szczególnym znaczeniu kulturowym, przyrodniczym i gospodarczym dotyczy:

- 1) klas użytkowania terenu:
 - a) terenów zabudowy mieszkaniowej,
 - b) terenów przemysłowych,
 - c) terenów komunikacyjnych,
 - d) lasów,
 - e) terenów rekreacyjno-wypoczynkowych,
 - f) użytków rolnych: gruntów ornych, użytków zielonych, wód, pozostałych,
- 2) ujęć wód powierzchniowych i podziemnych,
- 3) stref ochronnych ujęć wody,
- 4) kąpielisk,
- 5) form ochrony przyrody obejmujących: obszary Natura 2000, parki narodowe, rezerваты przyrody,
- 6) ogrodów zoologicznych,
- 7) obszarów i obiektów zabytkowych nieruchomych, zwłaszcza objętych formami ochrony zabytków,
- 8) zabytków wpisanych na Listę Światowego Dziedzictwa, o której mowa w art. 11 ust. 2 Konwencji w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego, przyjętej w Paryżu dnia 16 listopada 1972 r. przez Konferencję Generalną ONZ,
- 9) pomników zagłady,
- 10) skansenów i muzeów wpisanych do Państwowego Rejestru Muzeów,

- 11) bibliotek, których zbiory tworzą narodowy zasób biblioteczny,
- 12) archiwów, których zbiory tworzą narodowy zasób archiwalny,
- 13) zakładów przemysłowych,
- 14) potencjalnych ognisk zanieczyszczeń wody, w tym związanych z systemem kanalizacji, składowania odpadów i cementarzy,
- 15) a także elementy układu hydrograficznego z MZP, jednak bez struktury zalewu.

Te długie listy składowych MRP wymagają jeszcze, zawartego w szczegółowych przepisach prawnych, uzupełnienia. Istotne dla nas są informacje dotyczące następujących kwestii:

- na mapach ryzyka powodziowego przedstawia się liczbę osób zameldowanych na terenie miejscowości, zlokalizowanych w zasięgu obszaru zagrożenia powodziowego,
- budynki mieszkalne i obiekty o szczególnym znaczeniu społecznym przedstawia się w podziale na głębokość podtopienia (zalewu): do 2 m i ponad 2 m głębokości wody,
- sposób obliczania wartości potencjalnych strat powodziowych w poszczególnych klasach użytkowania terenu, na potrzeby opracowania map ryzyka powodziowego, jest aktualizowany i określony w odrębnych przepisach (do wartości tych odniesiono się w rozdz. 4).

Szczegółowy opis metodyki, zakres i formy opracowania map zostały przedstawione w Raporcie z wykonania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego wraz z załącznikami [57].

Warto zaznaczyć, że pomimo deklaracji o uwzględnieniu substancji zabytkowej, zgodnie z wymaganiami Listy Światowego Dziedzictwa, w Krakowie na przykład nie uwzględniono poprawnie tego wymogu ochrony [53].

Podstawą prawną ochrony Starego Miasta wraz ze wzgórzem wawelskim, Stradomia i Kazimierza, jako obszaru światowego dziedzictwa ludzkości UNESCO, jest wspomniana wyżej Konwencja. Jej wytyczne operacyjne wskazują, że „w celu ich zachowania wszystkie dobra wpisane na Listę muszą mieć zapewnioną odpowiednią długoterminową, ustawową, wynikającą z przepisów, instytucjonalną lub tradycyjną ochronę i sposób zarządzania. Ochrona ta powinna uwzględniać odpowiednio wytyczone granice dobra”. Zostało to potwierdzone zapisem w Studium uwarunkowań rozwoju przestrzennego z 2014 r.

Określony w przepisach ochronnych obszar ochrony przedstawia ilustracja 3.26. Ten obszar traktowany jest jako całość, uwzględniając strefę bezpośredniej ochrony, zaznaczonej linią czerwoną, oraz strefę ochrony pośredniej – ograniczonej linią zieloną.

Nas interesuje najbardziej obszar ograniczony linią czerwoną, ponieważ cały obszar Starego Miasta w Krakowie, wzgórz wawelskiego i dzielnicy Kazimierz został zakwalifikowany jako zabytek światowego dziedzictwa.

Jednak na obowiązujących MRP zaznaczono wyłącznie pojedyncze obiekty zabytkowe, potraktowane odrębnie i zapewne wybrane według klucza, który nie jest jasno zdefiniowany. Nie uwzględniono też pośredniej strefy ochrony. Tym samym wymagania Listy Światowego Dziedzictwa w Krakowie nie zostały spełnione [53].

Jest to jeden z przykładów, wskazujących na to, że mamy do czynienia z istotnym postępem w metodyce oraz technologii sporządzania map ryzyka powodziowego, ze szczególnym uwzględnieniem istoty oceny ryzyka, jednak oceny te wymagają jeszcze kolejnych weryfikacji i uszczegółowienia zasad.



II. 3.26. Zaznaczona na czerwono strefa bezpośredniej ochrony dziedzictwa kulturowego UNESCO na terenie Krakowa (linia czerwona) wraz z obszarem ochrony pośredniej (linia zielona)

3.4.3. WYBRANE WYNIKI OCENY RYZYKA POWODZIOWEGO NA OBSZARZE KRAKOWA

W celu prezentacji wyników oceny ryzyka powodziowego na obszarze Krakowa wybrano fragmenty map ryzyka powodziowego dla odcinka Wisły między ujściem Prądnika i Dłubni. Jest to część Krakowa, w której obok osiedli mieszkalnych znajdują się tereny zielone, przemysłowe i składy magazynowe.

Mapa na ilustracji 3.29 odnosi się do kategorii pierwszej MRP i przedstawia **zagrożenie dla ludności oraz potencjalne straty powodziowe** przy punktowej awarii lewego wału przeciwpowodziowego w 840+100 km Wisły oraz prawego wału w 838+800 km rzeki. Punkty przerywania wałów zaznaczono na mapie czerwonymi prostokątami. Aby móc łatwiej odczytać przedstawiane treści, na ilustracji 3.27 umieszczono podstawowe oznaczenia tej kategorii map ryzyka powodziowego dla trzech kategorii, czyli dla budynków mieszkalnych, budynków o znaczeniu społecznym oraz obszarów, dla których wyznaczono wartości potencjalnych strat powodziowych, wyrażone w złotych przypadających na 1 m².

- Budynek mieszkalny
w obszarze zalania wodami powodziowymi o głębokości

	≤ 2.0 m		> 2.0 m
---	---------	---	---------
- Budynek o znaczeniu społecznym
w obszarze zalania wodami powodziowymi o głębokości

	≤ 2.0 m		> 2.0 m
---	---------	---	---------
- Obszar o potencjalnych wartościach strat powodziowych

	strat nie oblicza się		50.01 – 100 zł/m ²
	≤ 1.0 zł/m ²		100.01 – 150 zł/m ²
	1.01 – 25 zł/m ²		150.01 – 300 zł/m ²
	25.01 – 50 zł/m ²		> 300 zł/m ²

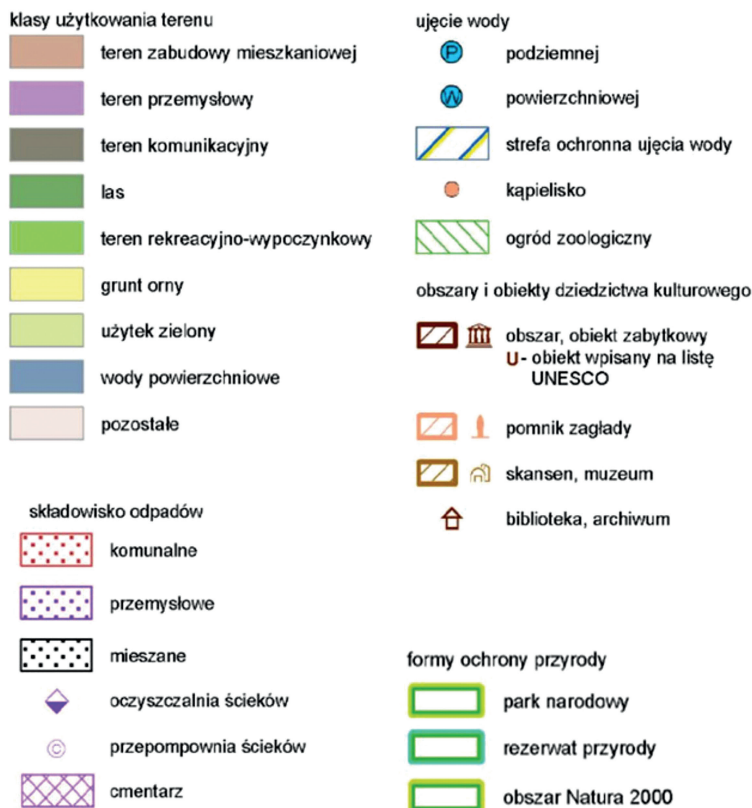
Il. 3.27. Podstawowe oznaczenia MRP – zagrożenie dla ludności oraz potencjalne straty powodziowe. Źródło: <https://wody.isok.gov.pl> (dostęp: 15.06.2020)

Można zauważyć (il. 3.29), że wielkopowierzchniowe sklepy M1 i Selgros Cash&Carry (jako budynki o znaczeniu społecznym) oznaczono kolorem fioletowym, co świadczy, że ich zalanie nie będzie przekraczało 2 m. Na terenie PGE Energia Ciepła S.A. wysokość strat będzie z zakresu 100,01 do 150 zł/m². Podobnie będzie też w przypadku hali sportowo-widowiskowej TAURON Arena Kraków. W większości

obszaru niezabudowanego wysokość strat będzie minimalna. W rejonach z zabudową mieszkaniową straty nie będą przekraczać 100 zł/m², a większość budynków mieszkalnych będzie zalana poniżej 2 m. Jedynie domy na os. Lesisko, zlokalizowane przy ul. Zagłoby, najbliższej wału przeciwpowodziowego, będą zalane powyżej 2 m (z racji najniższego poziomu posadowienia względem rzędnych korony wału).

Inaczej sytuacja wygląda na mapie na ilustracji 3.30, która odnosi się do kategorii drugiej MRP, gdzie przedstawiono **użytkowanie terenu oraz obszary i obiekty o szczególnym znaczeniu kulturowym, przyrodniczym i gospodarczym**. Podstawowe oznaczenia używane dla tej kategorii map przedstawiono na ilustracji 3.28.

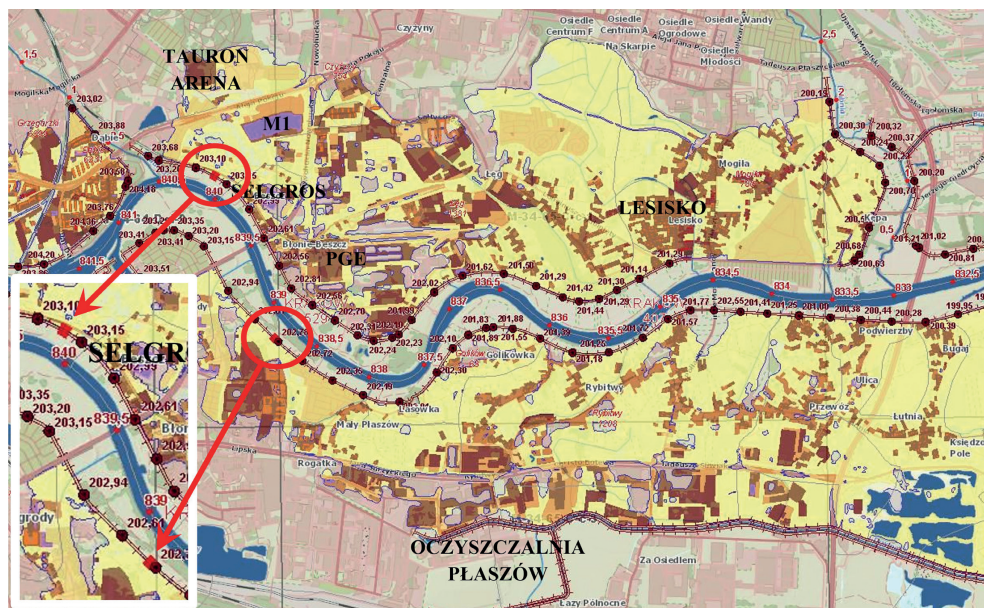
Mapa (il. 3.30) prezentuje tę samą część miasta, co na ilustracji 3.29, lecz dla scenariusza, w którym zalanie jest skutkiem całkowitej awarii wałów przeciwpowodziowych (również przy przepływie $Q_{1\%}$ na Wiśle). Zauważyć można, że strefa zalania jest znacznie większa niż na il. 3.29 i znajduje się w niej duży obszar przemysłowy w pobliżu oczyszczalni Płaszów, na którym pomieszczenia magazynowe będą zalane poniżej 2 m, a straty



Il. 3.28. Oznaczenia stosowane na MRP – użytkowanie terenu oraz obszary i obiekty o szczególnym znaczeniu kulturowym, przyrodniczym i gospodarczym.

Źródło: <https://wody.isok.gov.pl> (dostęp: 15.06.2020)

wyniosą do 150 zł/m². Podobna sytuacja będzie występowała na terenie PGE Energia Ciepła S.A. Znacznie gorzej (w relacji do scenariusza zaprezentowanego na il. 3.29) przedstawia się sytuacja obszarów zabudowy mieszkaniowej. Jest to szczególnie widoczne na os. Lesisko, gdzie większość budynków mieszkalnych będzie zalana powyżej 2 m. Dodatkowo można zauważyć, że w strefie zalania znajduje się bardzo wiele podziemnych ujęć wody (oznaczonych literą P w niebieskim kółku), których skażenie znacząco ograniczy możliwość funkcjonowania ludzi na tym obszarze po ustąpieniu powodzi.



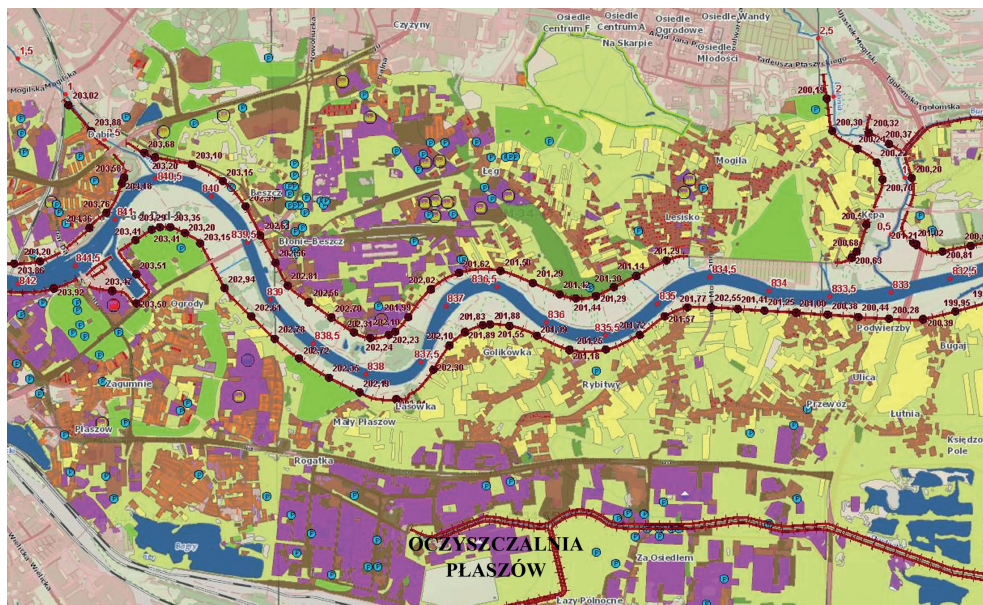
Il. 3.29. Fragment mapy ryzyka powodziowego dla $Q_{10\%}$ oraz uszkodzenia wałów: lewostronnego i prawostronnego (miejsca przerwania wału oznaczono czerwonymi prostokątami).

Źródło: <https://wody.isok.gov.pl> (dostęp: 15.06.2020)

Porównanie przedstawionych na ilustracjach 3.29 i 3.30 map pokazuje różnice w zasięgu zalewu i wysokości ryzyka powodziowego dla $Q_{10\%}$ w warunkach lokalnego uszkodzenia obwałowań (il. 3.29) i całkowitego ich zniszczenia na odcinku Wisły (il. 3.30). Wynika to z faktu, że przy lokalnym przerwaniu wału na teren zawała dostaje się tylko część przepływającej korytem wody i wypełnia ona teren położony poniżej zwierciadła wody, leżący w rejonie przerwania. Przy całkowitym zniszczeniu obwałowań woda zajmuje teren swojego dawnego koryta wielkiej wody.

Choć mapa na ilustracji 3.29 pokazuje przerwania po obu stronach Wisły, to należy pamiętać, że nie występują one jednocześnie, a stanowią jedynie sumę wyników oddzielnych symulacji dla każdego z tych przerwań.

W przypadku całkowitego zniszczenia obwałowań, dla wybranej pętli oddziaływania recipienta na dopływy (w nawiązaniu do pętli obwałowań głównych i cofkowych,



Il. 3.30. Fragment mapy ryzyka powodziowego dla $Q_{1\%}$ przy całkowicie zniszczonych obwałowaniach po obu stronach rzeki. Źródło: <https://wody.isok.gov.pl> (dostęp: 15.06.2020)

zaprezentowanej w rozdz. 2 na il. 2.14), dochodzi do znacznie głębszych zalań i występują one na większym obszarze, zamkniętym zasięgiem koryta tej wielkiej wody, czyli $Q_{1\%}$ w przypadku sytuacji pokazanej na ilustracji 3.30.

To, że przedstawia się **całkowite przerwanie obwałowań i jego skutki** wynika z faktu, że nie znamy *a priori* miejsca awarii obwałowań w czasie zagrożeń powodziowych realnie występujących. Na podstawie analizy stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych i wysokości rzędnych ich korony w stosunku do poziomu zwierciadła wód powodziowych, możemy jedynie wskazywać obszary potencjalnych katastrof. Jeśli jednak wcześniej przeliczymy zagrożenie przy całkowitym zniszczeniu obwałowań, to mapy takiego zagrożenia wskażą nam obwiednię zasięgu tego zagrożenia, a mapy ryzyka powodziowego potencjalne szkody i straty z niego wynikające.

Dysponując takimi danymi, nie tylko możemy przygotowywać się na najgorszy z możliwych scenariuszy, ale również – niezależnie od lokalizacji katastrofy związanej z obwałowaniami – możemy ocenić zasięg terenu, który wymaga interwencji w celu ochrony ludzi i mienia.

4. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM POWODZIOWYM

4.1. PODSTAWOWE INFORMACJE

Ustalona w 2004 r. definicja i zakres zarządzania ryzykiem powodziowym (Komisja Wspólnot Europejskich, dokument COM(2004)472, [71]) nie uległy zmianie. Jednak w oryginalnym dokumencie nie użyto pojęcia „**ryzyko powodziowe**”, a jedynie pojęcie „**zagrożenie powodziowe**”. Wynikało to z kilkuletniej dyskusji w krajach członkowskich, która poprzedzała wejście w życie Dyrektywy Powodziowej. Zakładano pierwotnie ostrożne, akceptowalne przez wszystkie kraje nazewnictwo i zakres analiz, ograniczając się do zagrożenia powodziowego. Jednak w 2007 r. wzięto pod uwagę fakt, że buduje się system planistyczny na długi horyzont czasowy, skutkujący etapami działań w cyklach sześcioletnich. Dlatego zdecydowano się na wprowadzenie analizy i oceny **ryzyka powodziowego**, które w pełni oddaje zarówno zagrożenie powodziowe, jak i jego skutki, które musimy ograniczać. Wykorzystano tutaj i wprowadzono procedurę postępowania adaptacyjnego. Przyjęto bowiem, że jeśli nawet pierwsze analizy i oceny nie będą pełne, to cykliczność działań planistycznych ułatwi szybkie wdrożenie tej znacznie bardziej wymagającej procedury planowania zarządzania ryzykiem powodziowym. Trudności wdrożeniowe dotyczą przede wszystkim bazy informacyjnej, która wymaga odpowiedniego zakresu oraz zweryfikowanych danych. Wynika to z formalnej strony zobowiązań oraz prawnych i ekonomicznych konsekwencji upublicznienia informacji, która w takiej sytuacji musi spełniać wymagania legalności.

Zgodnie z definicją, **zarządzanie ryzykiem powodziowym** ma na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa i/lub skutków powodzi.

Z doświadczeń większości krajów wynika, że najbardziej skutecznym podejściem jest podejmowanie działań w ramach programów zarządzania ryzykiem powodziowym, obejmujących następujące elementy:

- **zapobieganie**: zapobieganie powstawaniu szkód wywołanych powodzią: przez rezygnację z budowy domów mieszkalnych i obiektów przemysłowych, obecnie i w przyszłości, na terenach zagrożonych powodzią; przez dostosowywanie obiektów, które powstaną w przyszłości do zagrożenia powodziowego; przez wspieranie właściwego zagospodarowania terenu, praktyk rolniczych i leśnych,

- **ochrona:** podejmowanie środków, strukturalnych i niestrukturalnych (technicznych i nietechnicznych), w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i/lub skutków powodzi w określonych miejscach,
- **gotowość:** informowanie ludności o zagrożeniu powodziowym oraz zasadach postępowania w przypadku powodzi,
- **postępowanie awaryjne i reagowanie w czasie zdarzenia:** opracowanie planów awaryjnych na wypadek wystąpienia powodzi oraz działania ratownicze i ewakuacyjne,
- **przywracanie normalnych warunków i wyciąganie wniosków:** powracanie możliwie najszybciej do normalnych warunków i łagodzenie skutków społecznych oraz gospodarczych w przypadku osób dotkniętych powodzią, a także odbudowa ograniczająca istniejące zagrożenie i niegenerująca jego wzrostu w przyszłości.

Z punktu widzenia planowania działań pod kątem zarządzania ryzykiem powodziowym, kluczowe znaczenie mają dwa pierwsze elementy: **zapobieganie** oraz **ochrona przed zagrożeniem**, przy uwzględnieniu piątego z nich, czyli **odbudowy** na podstawie wyciągniętych wniosków. Ten ostatni przypadek dotyczy na przykład odbudowy zniszczonego mostu, ale tak, żeby światło odbudowanej konstrukcji spełniało wymagania określonej przepustowości w zakresie przepływów maksymalnych i nie prowadziło do zawężenia strumienia i nadpiętrzenia zwierciadła wody, co bywa przyczyną katastrof.

W trakcie występowania powodzi niezwykle ważne są dwa elementy: **gotowość** oraz **postępowanie awaryjne i reagowanie w czasie zdarzenia**. Gotowość przynależy do systemu prognoz oraz ostrzeżeń i jest domeną gospodarki wodnej (państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej, którą pełni IMGW-PIB), a postępowanie awaryjne i reagowanie w czasie zdarzenia to domena zarządzania kryzysowego.

W tej sytuacji, w zakresie działań planistycznych, podstawą są **plany zarządzania ryzykiem powodziowym (PZRP)**, wspomagane w ostatnim czasie w obszarach miejskich **miejskimi planami adaptacji do zmian klimatu (MPA)**.

Istotnego znaczenia nabiera również powiązanie PZRP z planowaniem przestrzennym, które stanowi podstawę działań zapobiegawczych, zwłaszcza na obszarach rozwojowych. Te działania zapobiegawcze mają na celu ograniczenie istniejącego zagrożenia, ale przede wszystkim rozwój nie generujący wzrostu zagrożenia powodziowego oraz niedopuszczenie do transferu zagrożenia z obszarów poddanych presji rozwojowej na obszary sąsiednie.

Warto też zauważyć, że obecnie realizowane i przyszłe plany zarządzania ryzykiem powodziowym, zgodnie z opinią Thomasa Hartmanna [27], w swym zakresie legalności zbliżają się do zasad planowania przestrzennego. W zarządzaniu ryzykiem powodziowym wprowadzono podejście scenariuszowe, co ostatecznie prowadzi do zróżnicowanych poziomów ochrony przeciwpowodziowej w zlewni. Ponadto wymagana jest akceptacja społeczna w procesie decyzyjnym, co z kolei podnosi wagę formalnej legalności zawartych w tych planach informacji w jej pełnym zakresie.

4.2. PLANY ZARZĄDZANIA RYZYKIEM POWODZIOWYM

4.2.1. WPROWADZENIE

Plany Zarządzania Ryzykiem Powodziowym (PRZP) są finalnym efektem całego procesu planowania w zakresie ochrony przed powodzią. Wcześniejsze etapy to: sporządzona Wstępna ocena ryzyka powodziowego (WORP), Mapy zagrożenia powodziowego (MZP) i Mapy ryzyka powodziowego (MRP), które służą określeniu ryzyka powodziowego. PRZP mają natomiast określić **najlepsze strategie ograniczania ryzyka powodziowego**.



II. 4.1. Cykl sporządzania dokumentów planistycznych w zakresie zarządzania ryzykiem powodziowym. Źródło: [59]

Zgodnie z zapisami ustawy Prawo wodne (i wdrożonej przez tę ustawę Dyrektywy Powodziowej) celem zarządzania ryzykiem powodziowym jest ograniczenie potencjalnych negatywnych skutków powodzi dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej. Na negatywne skutki powodzi mają wpływ: zasięg powodzi (*stopień zagrożenia*), stan zagospodarowania obszaru zagrożonego (*ekspozycja*), podatność elementów zagospodarowania na zagrożenie oraz zdolności lokalnych społeczności do przeciwdziałania zagrożeniu i likwidacji skutków katastrofy (*wrażliwość na powódź*). Ryzyko powodziowe jest w planach ryzyka powodziowego definiowane jako funkcja zagrożenia, ekspozycji i wrażliwości na powódź, czego konsekwencją jest również podejście do strategii zarządzania ryzykiem, która powinna obejmować oddziaływanie na wszystkie elementy przyczyniające się do negatywnych skutków powodzi – zarówno na zagrożenie, jak i ekspozycję oraz wrażliwość na powódź [40].

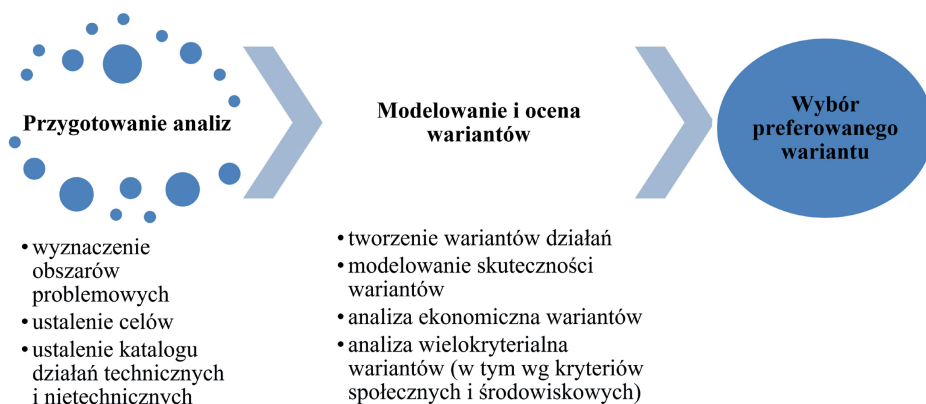
Metodyka opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym wymienia podstawowe sposoby, które pozwalają ograniczać skutki powodzi przez oddziaływanie na [40]:

- „zagrożenie – poprzez stosowanie działań zwiększających retencję, zarówno naturalną, jak i sztuczną (zbiorniki retencyjne), oraz budowle ograniczające zasięg powodzi, czyli obwałowania i kanały ulgi, a dla mniejszych powodzi regulacje koryt rzecznych. Są to zatem głównie techniczne środki ochrony przed powodzią oraz zwiększanie i ochrona retencji naturalnej. Tego typu strategia realizuje ideę: «odsuwania powodzi od ludzi».
- ekspozycję – poprzez stosowanie działań ograniczających zagospodarowanie terenów zalewowych, głównie poprzez przepisy zakazujące lub ograniczające zabudowę (ustalenie specjalnych warunków budowlanych i konstrukcyjnych dla obiektów) oraz ewentualnie wykupy i likwidację obiektów najbardziej zagrożonych (przeniesienie ich w bezpieczne miejsce). Tego typu strategia realizuje ideę: «odsuwania ludzi od powodzi».
- wrażliwość – poprzez stosowanie wielu różnorodnych metod działania: począwszy od ubezpieczeń powodziowych, przygotowania budynków do powodzi, poprzez skuteczne systemy wczesnego ostrzegania i reagowania na powódź, aż po rozpowszechnianie wiedzy i edukację z zakresu profilaktyki i radzenia sobie z powodzią. Tego typu strategia realizuje ideę: «nauczyć się żyć z powodzią»”.

Plany zarządzania ryzykiem powodziowym powinny obejmować wszystkie wymienione strategie, przy czym zaleca się, aby szczególny nacisk kłaść na działania służące zapobieganiu powodzi i ochronie przed powodzią oraz informacje na temat stanu należytego przygotowania w przypadku wystąpienia powodzi.

Dobór działań służących ograniczaniu ryzyka zależy od poziomu ryzyka powodziowego na danym obszarze oraz specyfiki danego terenu, możliwości zastosowania rozwiązań technicznych i nietechnicznych, a także od celów, jakie chcemy na danym obszarze osiągnąć (pożądane obniżenie poziomu ryzyka). Opracowanie planu zarządzania ryzykiem jest złożonym procesem, wymagającym sporządzenia wielu analiz. Pierwszym etapem jest sporządzenie diagnozy problemów do rozwiązania. Należy między innymi na podstawie MZP i MRP wskazać obszary problemowe, gdzie poziom ryzyka jest wysoki i wymaga podjęcia działań. Kolejno musimy ustalić, do jakiego poziomu powinniśmy ograniczyć ryzyko, czyli należy dla każdego obszaru problemowego ustalić cel, jaki chcemy osiągnąć. Następnym krokiem jest opracowanie wariantowych rozwiązań – działań technicznych i nietechnicznych, które pozwolą na obniżenie ryzyka powodziowego. Ostatnim krokiem jest analiza i ocena wariantów oraz wybór najlepszej strategii ochrony przed powodzią w obszarze problemowym, a następnie w skali regionu wodnego i dorzecza. Główne etapy sporządzania analiz na potrzeby PRZP przedstawiono na ilustracji 4.2.

Plany zarządzania ryzykiem powodziowym są sporządzane dla dwóch poziomów – obszarów dorzeczy i regionów wodnych. Zgodnie z przyjętym podziałem



II. 4.2. Główne etapy sporządzania planu zarządzania ryzykiem powodziowym

hydrograficznym kraju, w I cyklu planistycznym w latach 2010-2015 sporządzono PRZP dla trzech obszarów dorzeczy: Odry, Wisły i Pregoly, oraz dla dziewięciu regionów wodnych wchodzących w skład dorzeczy. Jak podano w rozdziale 3, w obecnym okresie planistycznym na lata 2016-2021 sporządzana jest aktualizacja wykonanych w 2015 r. planów (aPRZP).

Plany zarządzania ryzykiem powodziowym silnie oddziałują na społeczeństwo, gospodarkę oraz planowanie przestrzenne, dlatego procedura tworzenia planów zapewnia szeroką partycypację społeczną w procesie ich tworzenia. Na poziomie dorzeczy i regionów wodnych do zespołów planistycznych zlewni i regionów wodnych powoływani są między innymi przedstawiciele samorządów oraz innych interesariuszy. Polityka informacyjna dotycząca planowania w zakresie zarządzania ryzykiem powodziowym przewiduje ciągle informowanie o procesie przygotowywania planów i możliwościach wpływu na proces, a opracowywane projekty PRZP są poddawane szerokim konsultacjom społecznym.

4.2.2. WYZNACZENIE OBSZARÓW PROBLEMOWYCH

Mapy ryzyka powodziowego pokazują ryzyko powodziowe w czterech komponentach:

1) zdrowie i życie ludzi – przez zidentyfikowanie:

- a) liczby zagrożonych mieszkańców (na podstawie liczby osób zameldowanych w budynkach na obszarach narażonych na powódź),
- b) liczby budynków o szczególnym znaczeniu społecznym, w których mogą znajdować się dzieci i młodzież (np. szkoły, przedszkola, internaty), osoby o ograniczonych możliwościach poruszania się (np. szpitale, domy opieki społecznej, sanatoria) lub o ograniczonych zdolnościach decyzyjnych (np. zakłady karne, areszty, zakłady poprawcze),

- 2) środowisko – przez określenie¹:
 - a) liczby obiektów stanowiących duże zagrożenie dla środowiska (zakłady przemysłowe),
 - b) liczby obiektów stanowiących potencjalne zagrożenie dla środowiska (inne potencjalne ogniska zanieczyszczeń: oczyszczalnie i przepompownie ścieków, składowiska odpadów oraz cementarze),
- 3) działalność gospodarcza – przez określenie średnich strat rocznych, liczonych na podstawie wartości majątku zagrożonego powodzią w sześciu klasach użytkowania:
 - a) tereny mieszkalne,
 - b) tereny przemysłowe,
 - c) grunty orne,
 - d) użytki zielone,
 - e) lasy,
 - f) tereny rekreacji i wypoczynku,
- 4) dziedzictwo kulturowe – liczba obiektów i obszarów cennych kulturowo.

Na podstawie tak zróżnicowanej informacji trudno wskazać, gdzie problemy są największe, czy też, gdzie powinno się podjąć działania w pierwszej kolejności. Dlatego pierwszym krokiem w wyznaczeniu obszarów problemowych jest wyznaczenie jednej miary, tzw. ryzyka zintegrowanego.

Ryzyko zintegrowane jest wyznaczane jako suma ważona czterech wymienionych wyżej ryzyk częściowych: „zdrowie ludzi”, „środowisko”, „działalność gospodarcza” i „dziedzictwo kulturowe”. Wyliczone wskaźniki, charakteryzujące poszczególne ryzyka częściowe, podawane są w różnych jednostkach (np. liczba zagrożonych mieszkańców w os./km², liczba obiektów zabytkowych w szt./km², straty powodziowe w zł/km²), dlatego oszacowane wartości ryzyk częściowych są najpierw normalizowane (tzn. przeliczane do niemianowanych wartości o wspólnej skali) i dopiero wtedy sumowane. Zastosowanie sumy ważonej pozwala na uwzględnienie ważności poszczególnych ryzyk. Przykładowo, jeśli weźmiemy pod uwagę dwa obszary: pierwszy o wysokim ryzyku dla „zdrowia i życia ludzi” i drugi o wysokim ryzyku dla „środowiska” (dla obydwu obszarów pozostałe ryzyka są na tym samym niskim poziomie), to jeśli w pierwszej kolejności chcielibyśmy chronić życie ludzi, oznaczałoby to, że mniejszą wagę przykładamy do ochrony środowiska. Względna ważność poszczególnych ryzyk częściowych jest odzwierciedlana przez wartości wag im przypisywanych. Wagi dla poszczególnych ryzyk częściowych zostały opracowane na drodze oceny eksperckiej. W I cyklu planistycznym najwyższą wagę przyznano kategorii „zdrowie ludzi” – 0,54, „działalności gospodarczej” – 0,32, natomiast „środowisko” i „dziedzictwo kulturowe” otrzymały wagi 0,07 [2, 18, 61]. W II cyklu planistycznym podejście metodyczne zostało na wielu etapach zweryfikowane, w tym między innymi zmianie

¹ Szacowanie ryzyka w komponentcie „środowisko” w II cyklu planistycznym zostało poszerzone – uwzględniono występowanie ujęć wody oraz form ochrony przyrody.

uległy wagi: „zdrowie ludzi” – 0,50, „działalność gospodarcza” – 0,20, „dziedzictwo kulturowe” – 0,155 i „środowisko” – 0,145 [4].

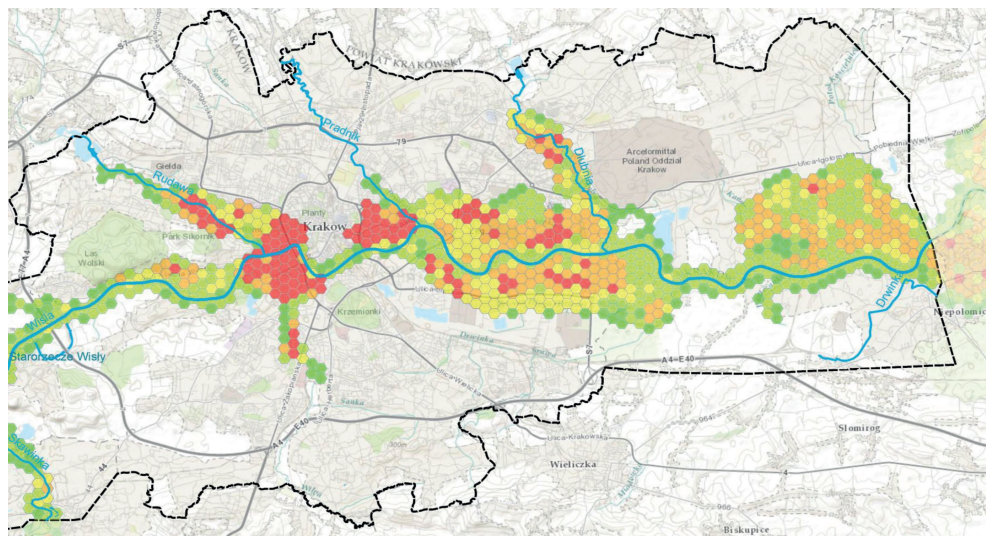
Ostatecznie, obliczone wartości ryzyka zintegrowanego są klasyfikowane w pięciostopniowej skali poziomu ryzyka – od „bardzo niskiego” do „bardzo wysokiego” (tab. 4.1). W tabeli zaprezentowano również zdefiniowane kolory – od ciemnozielonego do czerwonego – dla poszczególnych poziomów ryzyka, które są wykorzystywane do graficznej prezentacji poziomu ryzyka na mapach.

Tabela 4.1

Poziomy ryzyka zintegrowane przyjęte w PZRP

Poziom ryzyka	
1	Bardzo niski
2	Niski
3	Umiarkowany
4	Wysoki
5	Bardzo wysoki

Ryzyko nie rozkłada się równomiernie, co wynika między innymi z ukształtowania terenu (co z kolei przekłada się na przykład na głębokość zalania) oraz sposobu jego zagospodarowania (rodzaju i gęstości zabudowy – na terenach rolnych będzie niższe niż na terenach mieszkalnych czy przemysłowych z powodu mniejszej



Il. 4.3. Przestrzenny rozkład zintegrowanego ryzyka powodziowego; oznaczenie poziomu ryzyka: kolor czerwony – bardzo wysoki poziom ryzyka, pomarańczowy – wysoki, żółty – umiarkowany, jasnozielony – niski, ciemnozielony – bardzo niski. Źródło: [55]

wartości majątku; na obszarach zabudowy miejskiej zwartej zagrożonych będzie więcej mieszkańców niż na terenach rozproszonej zabudowy wiejskiej lub podmiejskiej). Dlatego ryzyko zintegrowane wyznacza się dla cząstkowych obszarów (w I cyklu był to obszar o powierzchni 10 ha w formie regularnego heksagonu, w II cyklu tzw. przestrzenne jednostki analityczne, bazujące na podziale hydrograficznym kraju, tzw. zlewniach elementarnych, wyznaczonych w MPHP), dzięki czemu uzyskuje się przestrzenny rozkład ryzyka powodziowego. Przykładowy rozkład ryzyka powodziowego na obszarze Krakowa, wyznaczony w ramach I cyklu sporządzania PRZP, przedstawiono na ilustracji 4.3.

Plany zarządzania ryzykiem są sporządzane dla obszarów dorzeczy i regionów wodnych, a prace analityczne są wykonywane w zlewniach II i III rzędu, w których wyznaczono obszary narażone na powódź. Analizy przestrzennego rozkładu ryzyka w zlewniach zostały również przeprowadzone w skali gmin, tak aby wytypować obszary problemowe, tzw. hot-spoty, dla których następnie wykonano analizy działań obniżających ryzyko.

Przykładowo, w regionie wodnym górnej Wisły w I cyklu wyznaczono:

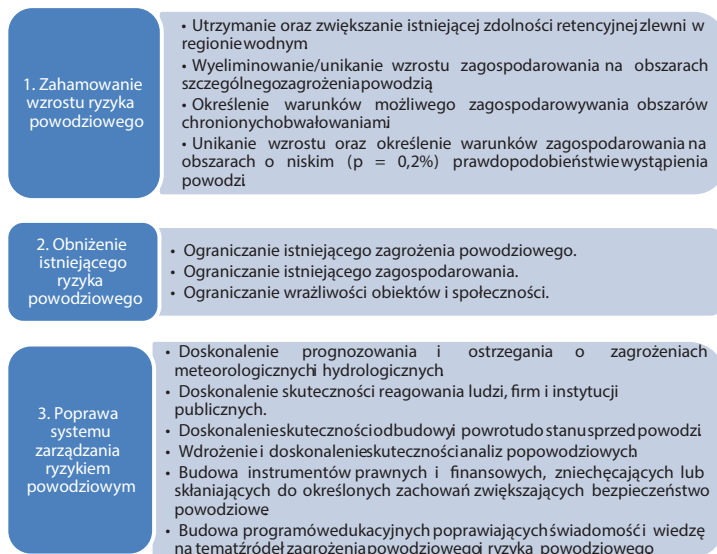
- 37 hot-spotów obszarowych, w tym:
 - 3 hot-spoty obejmujące strategiczne miasta zagrożone powodzią ze strony Wisły, czyli Kraków, Połaniec oraz Sandomierz,
 - 2 hot-spoty obszarowe odpowiadające odcinkom Wisły (poniżej Krakowa oraz poniżej Sandomierza),
 - 32 hot-spoty obszarowe odpowiadające zlewniom (lub ich częściom) dopływów Wisły,
 - 3 hot-spoty punktowe obejmujące miejscowości, dla których zidentyfikowano istotne ryzyko powodziowe (Gromiec, Preciszów, Piekary).

4.2.3. USTALENIE CELÓW

Jednym z najważniejszych etapów procesu planowania jest określenie celów, jakie chcemy osiągnąć. Ponieważ zarówno charakter zagrożeń, jak i ich skutki mogą mieć bardzo zróżnicowany charakter, to ani Dyrektywa Powodziowa, ani ustawa Prawo wodne nie formułują celów planów zarządzania ryzykiem powodziowym. Zapisano jedynie cel nadrzędny – konieczność ograniczania potencjalnych negatywnych skutków powodzi dla zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej.

Dyrektywa Powodziowa zaleca, aby przy określaniu celów opierać się na warunkach lokalnych i regionalnych, biorąc pod uwagę szczególne cechy terenów objętych tymi planami i umożliwiając opracowanie indywidualnych rozwiązań uwzględniających potrzeby i priorytety dotyczące tych terenów.

W I cyklu planistycznym sformułowano trzy cele główne oraz przyporządkowano im 13 celów szczegółowych (il. 4.4).



II. 4.4. Cele główne i szczegółowe planu zarządzania ryzykiem powodziowym. Źródło: [40]

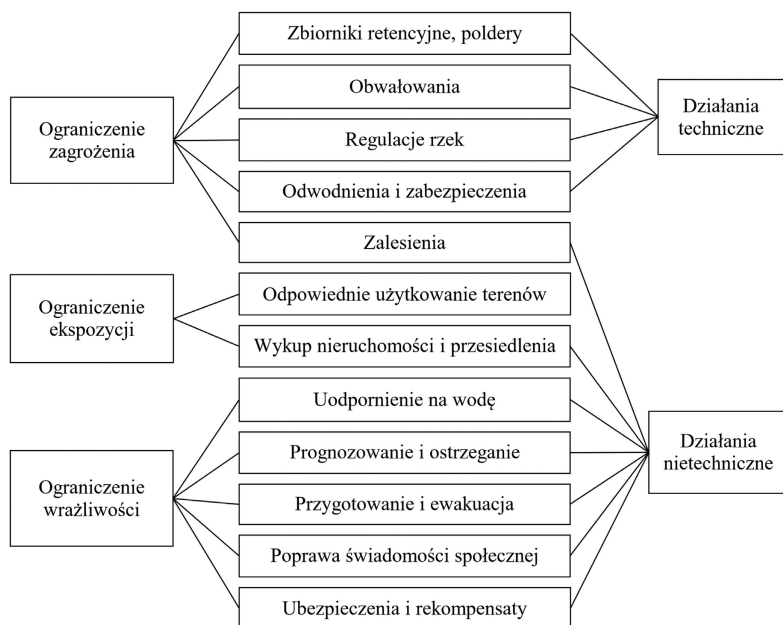
4.2.4. KATALOG DZIAŁAŃ TECHNICZNYCH I NIETECHNICZNYCH

Podejście do ograniczania ryzyka powodziowego, zalecane przez Dyrektywę Powodziową, kładzie szczególny nacisk na uwzględnienie metod nietechnicznych, obok rozwiązań technicznych, w strategiach ochrony przed powodzią. Działania nietechniczne zwiększają bowiem ekspozycję i wrażliwość na zagrożenie powodziowe. W rezultacie, przy zastosowaniu zarówno działań technicznych (oddziałujących na zagrożenie), jak i nietechnicznych, osiąga się wpływ na wszystkie parametry kształtujące ryzyko powodziowe: *zagrożenie – ekspozycję – wrażliwość*. Klasyfikacja typów działań oraz ich wpływu na elementy kształtujące ryzyko przedstawia ilustracja 4.5.

Inna klasyfikacja metod ograniczających ryzyko powodziowe rozróżnia działania oraz instrumenty, definiując je następująco [40]:

- „działania – to bezpośrednie interwencje dające efekty w postaci redukcji ryzyka. Zalicza się do nich wszystkie prace hydrotechniczne, ale również techniki planowania przestrzennego, zabezpieczanie budynków czy plany ewakuacji,
- instrumenty – to pośrednie interwencje, stwarzające możliwość wdrożenia działań (prawne, finansowe itp.) lub zmierzające do poprawy zdolności zagrożonych społeczności do radzenia sobie z zagrożeniami, stymulujące prace badawcze i przygotowanie na tej podstawie poradników, rozwiązań technologicznych itp.”

Dla poszczególnych celów głównych i szczegółowych opracowano katalog ponad 50 działań technicznych i nietechnicznych, a także zdefiniowano kilka instrumentów edukacyjnych wspierających ograniczanie ryzyka powodziowego. Dobór innych



II. 4.5. Działania techniczne i nietechniczne ograniczające ryzyko powodziowe. Źródło: [40]

instrumentów prawnych, finansowych, kompensujących, edukacyjnych i informacyjnych zaleca się projektować i dobierać w trakcie prac analitycznych w regionie wodnym w zależności od charakteru zidentyfikowanych problemów i możliwości ich rozwiązania.

Główne rodzaje instrumentów i ich rola w ograniczaniu ryzyka powodziowego [40]:

- **instrumenty prawne** – propozycje nowych przepisów, w tym prawa lokalnego, z zakresu gospodarowania wodami, planowania przestrzennego lub ochrony środowiska, które umożliwią realizację działań określonych w planach zarządzania ryzykiem powodziowym, na przykład ograniczeń lub zakazów w zakresie zabudowy terenów zagrożonych powodzią,
- **instrumenty finansowe** (skłaniające lub zniechęcające do określonych zachowań) – systemy zachęt finansowych (np. dopłat, dotacji, ulg) promujących określone działania zabezpieczające (np. przygotowanie/zabezpieczenie budynków przed powodzią, tworzenie systemów sankcji finansowych nakładających represje finansowe za niestosowanie zalecanych zachowań – np. wzrost podatku lub stawki za ubezpieczenie majątku),
- **instrumenty kompensujące** – działania kompensujące powinny być zaproponowane, jeśli działania (zwłaszcza techniczne) będą naruszały stan środowiska; inny rodzaj niezbędnych kompensacji to działania, które powinny towarzyszyć wykupom i przesiedleniom,

- **instrumenty analityczne** – instrumenty udoskonalające istniejący system zbierania, gromadzenia i przetwarzania informacji dotyczących zagrożeń, strat powodziowych, odszkodowań czy kosztów odbudowy po powodzi,
- **instrumenty edukacyjne i informacyjne** – propozycje rozwiązań przyczyniających się do rozpowszechniania wiedzy z zakresu przyczyn i skutków powodzi, a także metod ograniczania skutków powodzi.

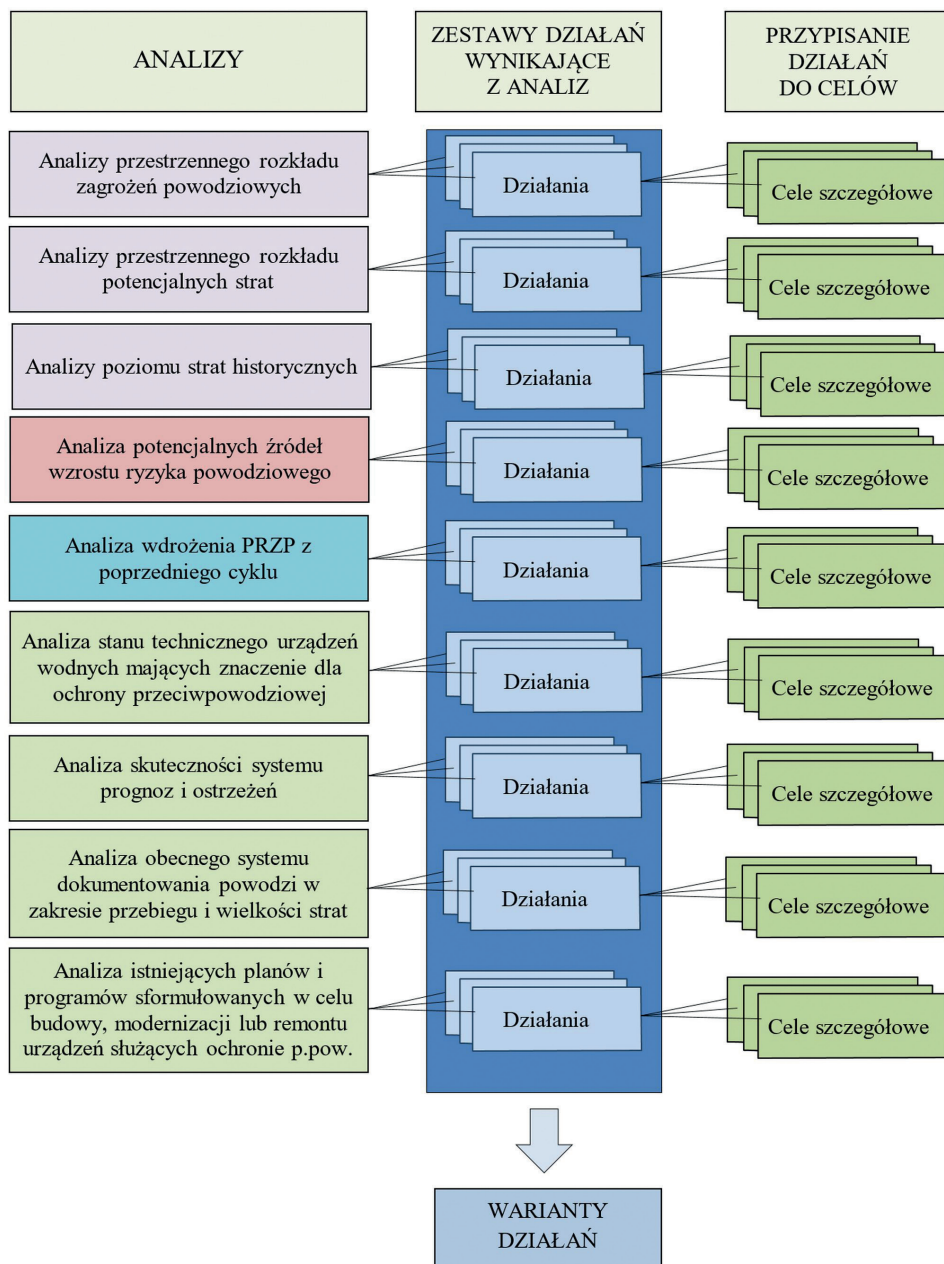
4.2.5. TWORZENIE WARIANTÓW DZIAŁAŃ

Podstawą doboru działań na analizowanym obszarze narażonym na powódź nie są jedynie zidentyfikowane ryzyko, cele i katalog działań. Dobór działań wymaga sporządzenia dodatkowych analiz, w tym:

- analizy potencjalnych źródeł wzrostu strat powodziowych – przykładowo zmiany klimatu i zmiany zagospodarowania terenu mogą spowodować, że zrealizowane rozwiązania techniczne według aktualnych potrzeb/poziomu zagrożenia mogą być za kilka lat niewystarczające,
- analizy stanu technicznego urządzeń wodnych, mających znaczenie dla ochrony przeciwpowodziowej,
- analizy skuteczności systemu prognoz i ostrzeżeń przed niebezpiecznymi zjawiskami meteorologicznymi i hydrologicznymi – doświadczenia innych krajów i oparte na nich badania dowodzą, że skuteczne systemy pozwalają na istotne ograniczenie ryzyka przez odpowiednie przygotowanie obiektów i mieszkańców do powodzi,
- analizy obecnego systemu dokumentowania powodzi w zakresie przebiegu oraz wielkości strat,
- analizy istniejących planów i programów, sformułowanych w celu budowy, modernizacji lub remontu urządzeń wodnych służących ochronie przeciwpowodziowej, aby zidentyfikować opracowane wcześniej rozwiązania,
- analizy wdrożenia PRZP z poprzedniego cyklu – jakie działania zostały wykonane, jakie są w trakcie realizacji i jak mogą one wpłynąć na ryzyko powodziowe.

Wykonane analizy pozwalają na wstępne wybranie działań i przypisanie ich do celów szczegółowych. Wybrane działania (różne rozwiązania techniczne i nietechniczne) grupuje się następnie w tzw. warianty działań, które są w stanie zapewnić osiągnięcie celów szczegółowych na danym obszarze problemowym. Tworzonych jest kilka wariantów działań, z których typowe rodzaje wariantów formułowanych w analizach to [40]:

- wariant zerowy – brak działań innych niż standardowe działania stosowane w ostatnich latach; wariant ten stanowi punkt odniesienia (wariant porównawczy) dla pozostałych wariantów; pokazuje negatywne skutki niepodjęcia rozwiązań obniżających ryzyko powodziowe; w porównaniu do tego wariantu obliczane są między innymi uniknięte straty powodziowe uzyskiwane przez inne warianty;



II. 4.6. Schemat wyłaniania działań technicznych i nietechnicznych ograniczających ryzyko powodziowe. Źródło: [40]

- wariant nietechniczny, który uwzględnia jedynie działania o charakterze nietechnicznym, ograniczające ryzyko powodziowe (np. poprawa retencji zlewni, wykupy gruntów, przenoszenie zabudowy, skłanianie mieszkańców do zabezpieczeń indywidualnych itp.); wariant ten jest następnie modelowany hydraulicznie w celu oceny skuteczności; jest istotnym wariantem odniesienia w świetle przepisów Ramowej Dyrektywy Wodnej, która wymaga udowodnienia, że warianty mniej inwazyjne dla środowiska są mniej skuteczne lub nieefektywne ekonomicznie;
- wariant techniczny, który uwzględnia tylko techniczne rozwiązania ograniczające ryzyko powodziowe (np. modernizacja istniejących i budowa nowych obwałowań, budowa zbiorników retencyjnych, polderów itd.); wariant ten podlega modelowaniu hydraulicznemu w celu oceny skuteczności i efektywności przyjętych w nim działań technicznych;
- warianty mieszane, które stanowią kombinację działań technicznych i nietechnicznych (zgodnie z zaleceniami Dyrektywy Powodziowej i Prawa wodnego), zapewniając oddziaływanie nie tylko na obniżenie zagrożenia, bowiem mają również wpływ na dwie pozostałe składowe ryzyka – ekspozycję i wrażliwość na zagrożenie powodziowe.

Warianty są wspierane instrumentami (rozwiązania prawne, finansowe, edukacyjno-informacyjne, organizacyjne), które zapewniają sprawne i efektywne wdrożenie działań technicznych i nietechnicznych.

4.2.6. OCENA WARIANTÓW. ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI

Ocena wariantów stanowi kluczowy etap sporządzania planu zarządzania ryzykiem i służy wyłonieniu wariantu preferowanego – zestawu najlepszych rozwiązań, pozwalających na osiągnięcie założonych celów, czyli obniżenia ryzyka powodziowego do akceptowalnego poziomu. Do oceny wariantów wykorzystywane są dwa uzupełniające się narzędzia: analiza kosztów i korzyści oraz analiza wielokryterialna. Analiza kosztów i korzyści jest metodą oceny ekonomicznej efektywności (opłacalności), w ramach której porównuje się wymagane nakłady inwestycyjne i koszty, jakie wariant generuje, z korzyściami, jakie dzięki niemu są osiągnięte. Zarówno koszty, jak i korzyści powinny być zidentyfikowane bardzo szeroko i obejmować nie tylko wydatki i wpływy finansowe, ale również koszty i korzyści w gospodarce i społeczności lokalnej oraz w środowisku naturalnym. Korzyści i koszty społeczne, gospodarcze i ekologiczne często nie generują występowania przepływów pieniężnych i nie są „wyceniane na rynku” (np. korzyści społeczne objawią się w przyszłości jako wzrost bezpieczeństwa mieszkańców i obniżenie strat powodziowych, a koszty środowiskowe jako trwałe przekształcenie środowiska naturalnego itd.). Dlatego też zaleta szerokiego patrzenia na efekty inwestycji staje się z tego powodu również wadą metody kosztów i korzyści, ponieważ wiele efektów jest trudno wycenialnych [24, 50]. Stąd też w praktyce w analizie kosztów i korzyści inwestycji przeciwpowodziowych wiele

istotnych pozycji pozostaje nieuwzględnionych, jak choćby korzyści z unikniętych strat w życiu i zdrowiu mieszkańców czy koszty środowiskowe związane z realizacją inwestycji. Niewyceniane korzyści i koszty brane są pod uwagę w ocenach jakościowych zazwyczaj w trakcie analizy wielokryterialnej.

Pierwszym krokiem w analizie kosztów i korzyści jest identyfikacja wszystkich istotnych kosztów i korzyści związanych z realizacją i późniejszym funkcjonowaniem działań. W tabeli 4.2 przedstawiono klasyfikację kosztów i korzyści z podziałem na efekty bezpośrednie (wywołane wprost przez realizację inwestycji) i pośrednie (powstające jako dodatkowy skutek inwestycji i zwykle trudniejsze do zidentyfikowania i wyceny) [50].

Tabela 4.2

Bezpośrednie i pośrednie koszty i korzyści działań przeciwpowodziowych. Źródło: [24]

Wyszczególnienie koszty/korzyści	Przykład
KOSZTY	
<i>Bezpośrednie</i>	
1. Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe 2. Koszty eksploatacji 3. Koszty społeczne 4. Koszty środowiskowe	1. Koszty budowy/realizacji działań, koszty wykupu gruntów 2. Koszty bieżącego utrzymania 3. Uciążliwości i utrudnienia (np. w komunikacji) powstające w trakcie realizacji inwestycji 4. Zmiana warunków naturalnych ekosystemów, bioróżnorodności, siedlisk, krajobrazu
<i>Pośrednie</i>	
Zmiana/utrata charakteru obszaru, np. naturalnego wykorzystywanego do rekreacji/turystyki	Spadek dochodów związanych z turystyką czy rekreacją na zmienionych terenach
KORZYŚCI	
<i>Bezpośrednie</i>	
1. Redukcja (ograniczenie) szkód powodziowych 2. Ograniczenie strat w życiu i zdrowiu ludzi	1. Redukcja strat w uprawach, zniszczeń budynków i dróg itp.
<i>Pośrednie</i>	
1. Redukcja (lub uniknięcie) przerw, utrudnień we wszelkiego rodzaju działalności prowadzonej na obszarze wpływu inwestycji 2. Ograniczenie częstości/rozmiaru akcji ratowniczych i odbudowy po powodzi 3. Pojawienie się nowych, zabezpieczonych przed powodzią terenów do zagospodarowania 4. Wzrost bezpieczeństwa, zmniejszenie zagrożenia powodziowego	1. Redukcja strat w działalności gospodarczej, systemie komunikacyjnym i sektorze usług publicznych 2. Redukcja kosztów prowadzenia akcji ratowniczych i odbudowy zniszczeń powodziowych 3. Wzrost wartości terenu 4. Wzrost dobrobytu społeczności

Wśród wymienionych kosztów i korzyści w ocenie efektywności ekonomicznej po stronie kosztów najczęściej uwzględniane są wydatki inwestycyjne i eksploatacyjne oraz koszty społeczne powstające podczas realizacji inwestycji (utrudnienia w komunikacji związane z natężonym transportem obsługującym budowę). W analizie nie są uwzględniane koszty środowiskowe, gdyż powinny być one niewielkie z uwagi na restrykcyjne przepisy z zakresu ochrony środowiska, w tym przepisy Ramowej Dyrektywy Wodnej, które nie dopuszczają do realizacji inwestycji powodującej istotne straty środowiskowe. Po stronie korzyści zazwyczaj szacowane są uniknięte straty powodziowe, które są najważniejszą pozycją ekonomiczną uzasadniającą podejmowanie działań.

Straty powodziowe dzieli się na bezpośrednie i pośrednie. Bezpośrednie są powodowane przez bezpośredni kontakt wód powodziowych z budynkiem, budowlą czy terenem. Szkody i straty powstają przede wszystkim na skutek zalania wodą (dodatkowe znaczenie odgrywają czas i głębokość zalewu, prędkość wody oraz zanieczyszczenia znajdujące się w wodach powodziowych). Bezpośrednie zniszczenia to szkody i straty, które wywołują utrudnienia w komunikacji, prowadzeniu działalności gospodarczej i dostępności usług publicznych, powodując powstanie pośrednich strat powodziowych nawet na obszarach nie objętych zalaniem.

Tabela 4.3

Uproszczony schemat kosztów i korzyści inwestycji. Źródło: [34]

Koszty	Nakłady inwestycyjne Koszty eksploatacji Koszty społeczne	Rodzaje szkód
Korzyści	Uniknięte straty	
Straty bezpośrednie		Majątek prywatny i publiczny
Straty pośrednie		Ekonomiczne: przerwy w działalności gospodarczej... Społeczne: poczucie zagrożenia... Środowiskowe: skażenie...

Pełna analiza kosztów i korzyści powinna, zgodnie z jej ideą, obejmować wszystkie straty. Najważniejsze z nich wymieniono w tabeli 4.4, utrzymując podział na straty bezpośrednie i pośrednie.

Jak już wspomniano, wiele rodzajów szkód i strat bezpośrednich i pośrednich jest trudno wycenialnych. Część z nich to tzw. straty niewymierne, które dotyczą między innymi strat bezpośrednich i pośrednich w zdrowiu i życiu ludzkim, szkód w obiektach zabytkowych i dziedzictwa kulturowego, a także tzw. strat w produkcji, czyli strat finansowych ponoszonych przez gospodarke na skutek zniszczenia majątku, przerw w produkcji, trudności w odtworzeniu majątku, utraty klientów itd. Tego typu straty trudno oszacować, gdyż ich charakter jest unikalny (np. zabytki), nieprzewidywalny

(urazy mentalne i psychiczne) bądź też ich wycena jest kontrowersyjna i krytykowana z moralnego punktu widzenia, co dotyczy zwłaszcza utraty życia ludzkiego. Pewne rodzaje strat bezpośrednich i pośrednich, chociaż nie należą do tzw. niewymiernych, trudno jest wycenić z uwagi na brak dostępnych danych potrzebnych do ich oszacowania [50]. Wynika to przede wszystkim z braku kompleksowego systemu zbierania i gromadzenia danych na temat strat i szkód powodziowych. Dlatego też w praktyce, przy wykonywaniu ocen efektywności działań przeciwpowodziowych, szacowaniu podlegają jedynie najistotniejsze wymierne straty powodziowe.

Tabela 4.4

Główne rodzaje strat bezpośrednich i pośrednich. Źródło: [24]

	Straty bezpośrednie	Straty pośrednie
Zdrowie i życie ludzkie	wypadki śmiertelne (przede wszystkim utonięcia) trwała lub czasowa utrata zdrowia	koszty ewakuacji i pomocy lekarskiej urazy mentalne i psychiczne (utrata bliskich, poczucie zagrożenia)
Budynki mieszkalne	uszkodzenia nieruchomości/budynków strata wyposażenia i umeblowania	koszty ewakuacji i zakwaterowania wydatki na sprzętanie
Rolnictwo	uszkodzenia i strata zabudowań gospodarczych i innych strata materiałów, narzędzi, zapasów strata w uprawach strata zwierząt hodowlanych	wydatki na sprzętanie straty w produkcji niepełne wykorzystanie zdolności produkcyjnych
Przemysł, handel	uszkodzenia i strata majątku trwałego strata majątku obrotowego (materiały, towary, produkty gotowe i w toku) strata dokumentacji, archiwów	wydatki na sprzętanie wydatki na transport, przeniesienie majątku straty w produkcji (straty finansowe) niepełne wykorzystanie zdolności produkcyjnych
Usługi publiczne, infrastruktura publiczna oraz zaopatrzenie w media	uszkodzenia nieruchomości, budynków, budowli, dróg, sieci strata wyposażenia	wydatki na sprzętanie wydatki na organizację alternatywnego sposobu realizacji usług publicznych, komunikacji oraz zaopatrzenia w media
Zabytki i dziedzictwo kulturowe	uszkodzenia nieruchomości/budynków zabytkowych	wydatki na odtworzenie
Gospodarka lokalna	-	spadek przyszłych przychodów, cen nieruchomości, inwestycji produkcyjnych itp.

Podsumowując, w analizie kosztów i korzyści działań z zakresu zarządzania ryzykiem powodziowym uwzględnia się po stronie kosztów przede wszystkim nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji, a po stronie korzyści – uniknięte straty powodziowe. Z uwagi na

trudno mierzalny charakter kosztów i korzyści społecznych oraz środowiskowych, a także niektórych strat pośrednich, pozostają one nieuwzględnione w analizie ekonomicznej.

PRZEBIEG ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI

Istotą analizy ekonomicznej jest porównanie kosztów działań z uzyskiwanymi korzyściami w celu oceny efektywności ekonomicznej (opłacalności). Główne koszty (nakłady inwestycyjne) są ponoszone na etapie realizacji, natomiast korzyści będą występowały w okresie eksploatacji. Stąd rachunek jest prowadzony dla wieloletniego okresu, co niesie za sobą również zastosowanie rachunku dyskontowego (uwzględniającego zmianę wartości pieniądza w czasie).

Zgodnie z metodą sporządzania PZRP w analizie ekonomicznej działań przeciwpowodziowych przyjmowany jest 50-letni okres analizy.

W oparciu o podstawy teoretyczne wykonywania oceny efektywności ekonomicznej, analiza kosztów i korzyści składa się z dwóch podstawowych ocen:

- wykonalności finansowej (analizy finansowej), w ramach której sporządzany jest bilans rzeczywistych wydatków i wpływów pieniężnych (w tym przypadku jest to właściwie ujęcie jedynie wydatków, czyli nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji, ponieważ inwestycje przeciwpowodziowe nie niosą żadnych wpływów pieniężnych, gdyż są niedochodotwórcze, bowiem nie ma podmiotów, które bezpośrednio płacą za ochronę przeciwpowodziową),
- efektywności ekonomicznej (analizy ekonomicznej) – jest to ujęcie z punktu widzenia wszystkich kosztów i korzyści, które powstają dzięki realizacji projektu, w tym najważniejszych korzyści, czyli redukcji strat powodziowych, dla których ma być realizowana inwestycja; korzyść z redukcji strat jest tzw. efektem zewnętrznym inwestycji (efektem uzyskiwanym nie przez inwestora tylko przez otoczenie); uwzględnienie efektów zewnętrznych jest z punktu widzenia społeczeństwa najważniejszym uzupełnieniem (korektą) analizy finansowej, gdyż dzięki temu używamy wartości kosztów i korzyści projektu.

Analiza kosztów i korzyści wariantów działań odbywa się zatem zgodnie z następującymi etapami:

- analiza finansowa – oszacowanie wydatków:
- kosztów realizacji działań, w tym kosztów wymaganych wykupów/przesiedleń,
- kosztów eksploatacji,
- analiza ekonomiczna:
- korekta fiskalna – nakłady inwestycyjne są pomniejszane o podatki pośrednie (z punktu widzenia społeczeństwa podatek wraca do budżetu i jest ponownie dostępnym zasobem, nie stanowiąc zatem kosztu działania),
- korekta o efekty zewnętrzne – oszacowanie korzyści z unikniętych strat powodziowych i innych istotnych, możliwych do wyceny kosztów i korzyści, które wynikają z realizacji działań,

- wyznaczenie wskaźników efektywności.
- W celu oceny efektywności ekonomicznej szacowane są trzy podstawowe wskaźniki efektywności:
- ekonomiczna wartość bieżąca netto (ENPV), odzwierciedlająca sumę korzyści netto, czyli sumę nadwyżek korzyści nad kosztami (korzyści netto = korzyści – koszty) dla przyjętego okresu analizy,
- ekonomiczna wewnętrzna stopa zwrotu (ERR),
- wskaźnik korzyści/koszty (B/C), pokazujący relację korzyści do kosztów.

SZACOWANIE KORZYŚCI – UNIKNIĘTYCH STRAT POWODZIOWYCH

W analizie kosztów i korzyści inwestycji uwzględnia się korzyści z obniżenia zagrożenia powodziowego – unikniętych strat w mieniu prywatnym i publicznym (budynki mieszkalne, obiekty przemysłowe, uprawy rolne, drogi, mosty, koleje itp.). Obniżenie strat powodziowych jest jednym z najważniejszych kryteriów, jakie decydują o podejmowaniu działań niwelujących ryzyko powodziowe. Korzyści z obniżenia strat powinny równoważyć koszty ponoszone na realizację inwestycji.

Przy sporządzaniu map ryzyka powodziowego, wykorzystywanych w planach zarządzania ryzykiem powodziowym, szacowanie strat powodziowych jest oparte na wykorzystaniu jednostkowych wskaźników wartości majątku dla poszczególnych klas użytkowania terenu (form gospodarczego wykorzystania powierzchni terenu) oraz funkcji strat wiążących głębokość wody z utratą wartości majątku w danej klasie użytkowania terenu.

Jednostkowe wskaźniki wartości mienia określają średnią wartość przypadającą na jednostkę powierzchni dla terenów zabudowy mieszkalnej, terenów przemysłowych, rolnych, leśnych i rekreacyjnych. Oszacowaniu podlega majątek rzeczowy (budynki, maszyny, urządzenia, środki transportu), majątek ruchomy (np. wyposażenie mieszkań) oraz majątek obrotowy w działalności gospodarczej i produkcyjnej (np. materiały, produkty, towary). Pozostałe straty bezpośrednie i pośrednie zwykle uwzględniane są w postaci „narzutu” na straty bezpośrednie. Nie podlegają natomiast wycenie straty niewymierne, takie jak utrata zdrowia lub życia. Wskaźniki „narzutu” stosowane są jako sposób uwzględnienia dodatkowych strat (poza rzeczowymi), takich jak: koszty akcji powodziowych, usuwania szkód, porządkowania terenu, przerw w prowadzeniu działalności gospodarczej, utraty zysków, przerw i utrudnień w komunikacji, dostępie do usług itd. Przykładowo, po powodzi w 1997 r. Chojnacki [12] proponował, aby straty pośrednie były obliczane jako procent wartości strat bezpośrednich, zmienny w zależności od intensywności zagospodarowania. Na przykład dla terenów miejskich zalecał od 20% dla terenów miejskich zielonych (bez dróg i zabudowy mieszkalnej) do nawet 100% dla terenów o gęstej zabudowie i rozwiniętej sieci komunikacyjnej.

- Obecnie do oszacowania strat pośrednich przyjęto następujące wskaźniki:
- dla terenów zabudowy mieszkalnej o luźnej zabudowie – straty pośrednie stanowią 40% strat bezpośrednich,
 - dla terenów zabudowy mieszkalnej o zwartej zabudowie – straty pośrednie stanowią 80% strat bezpośrednich,
 - dla terenów przemysłowych – straty pośrednie stanowią 80% strat bezpośrednich.
- W tabeli 4.5 przedstawiono schemat kwalifikacji strat powodziowych przyjmowany na potrzeby sporządzania PZRP.

Tabela 4.5

Stosowane podejścia do wyznaczania strat powodziowych. Źródło: [24]

Sposób wyznaczania strat powodziowych		
Wskaźniki jednostkowe	Szacowane przez wskaźnik „narzutu” na straty rzeczowe	Niewyceniane
<p>Straty bezpośrednie: Straty w majątku prywatnym i publicznym: budynki mieszkalne, majątek trwały przedsiębiorstw (budynki, maszyny, urządzenia), infrastruktura komunikacyjna, tereny rekreacyjne, tereny lasów Straty w produkcji rolnej</p> <p>Inne straty bezpośrednie*: Straty w wyposażeniu mieszkań Straty w majątku obrotowym przedsiębiorstw</p>	<p>Straty bezpośrednie*: Straty w wyposażeniu mieszkań Straty w majątku obrotowym przedsiębiorstw</p> <p>Straty pośrednie: Straty gospodarcze wynikające ze zmniejszenia produkcji Koszty prowadzenia akcji Koszty porządkowania terenów po ustąpieniu powodzi</p>	<p>Straty niewymierne: Utrata zdrowia i życia mieszkańców (utrata zdrowia, poczucia bezpieczeństwa, komfortu psychicznego, życia bliskich)</p>

* Straty w wyposażeniu mieszkań i majątku obrotowym firm w I cyklu planistycznym były szacowane w postaci wskaźnika „narzutu”, a w II cyklu planistycznym w PZRP z 2021 r. ujęto je we wskaźnikach jednostkowych majątku.

Wyróżniono osiem klas użytkowania terenu i przyjęto dla nich sposób wyceny strat, wskaźniki jednostkowe wartości majątku i funkcje strat. Ustalono, że wartości majątku oraz strat powodziowych nie wyznacza się dla klasy „Wody” i „Pozostałe”. Pierwsze wskaźniki określono w 2009 r. na potrzeby I cyklu planistycznego, a w obecnym II cyklu zostały one zaktualizowane – wartość mienia wzrasta w wyniku rozwoju gospodarczego, inwestycji, wzrostu zasobności mieszkańców i zmian cen. Na zmianę wskaźników miał również wpływ rozwój metod szacowania tego typu wielkości [25]. Przykładowe wskaźniki wartości majątku, opracowane na potrzeby map ryzyka MRP w II cyklu planistycznym, przedstawiono w tabeli 4.6 [39]. Dla terenów komunikacyjnych, leśnych i rekreacyjnych wyznaczono wskaźniki jednolite dla całego kraju, natomiast dla terenów mieszkalnych, rolnych i przemysłowych – zróżnicowane dla poszczególnych województw.

Tabela 4.6

Stosowane podejście do wyznaczania strat powodziowych. Oprac. własne na podstawie [39]

Klasa użytkowania terenu	Wskaźniki wartości majątku/ strat (ceny w 2016 r.)	Funkcja strat	
		Głębokość wody (h) [m]	Utrata wartości majątku $f(h)$ [%]
Tereny zabudowy mieszkaniowej	Woj. małopolskie: wartość majątku: 514 zł/m ²	$h \leq 0,5$ $0,5 < h \leq 2$ $2 < h \leq 4$ $h > 4$	20 35 60 95
Tereny przemysłowe	Woj. małopolskie: wartość majątku: 1028 zł/m ²	$h \leq 0,5$ $0,5 < h \leq 2$ $2 < h \leq 4$ $h > 4$	20 40 60 80
Tereny komunikacyjne	Wartość majątku: 717 zł/m ²	$h \leq 0,5$ $h > 0,5$	5 10
Grunty orne	Woj. małopolskie: Wartość strat: 0,40 zł/m ²		
Użytki zielone	Woj. małopolskie: Wartość strat: 0,08 zł/m ²		
Lasy	Wartość strat: 0,04 zł/m ²		
Tereny rekreacyjno- wypoczynkowe	Wartość strat: 8 zł/m ²		

Przy wyznaczaniu potencjalnych strat powodziowych dla każdego analizowanego wariantu przebieg obliczeń jest następujący:

- przeprowadzenie modelowania hydraulicznego powodzi o prawdopodobieństwie wystąpienia 0,2%, 1%, i 10%,
- określenie obszaru objętego zagrożeniem powodziowym wraz z określeniem głębokości zalewu (przedziałów głębokości) dla Q 0,2%, 1%, i 10%,
- określenie poszczególnych klas użytkowania terenu na obszarze objętym zagrożeniem powodziowym,
- określenie wartości majątku dla poszczególnych obszarów (na podstawie wskaźników jednostkowych),
- określenie strat powodziowych (na podstawie funkcji strat i głębokości) dla poszczególnych klas użytkowania terenu oraz sumarycznych strat dla Q 0,2%, 1%, i 10%.

Wyznaczone w ten sposób wielkości dla wszystkich analizowanych wariantów i powodzi (Q 0,2%, 1%, i 10%) służą do budowy uproszczonej krzywej prawdopodobieństwa wystąpienia strat (il. 4.7), a następnie określenia wartości strat średniorocznych.

Tabela 4.7

Przykładowe wyznaczenie strat powodziowych – teren zagrożony powodzią $Q_{10\%}$ o łącznej powierzchni 14,95 ha. Oprac. własne na podstawie [39]

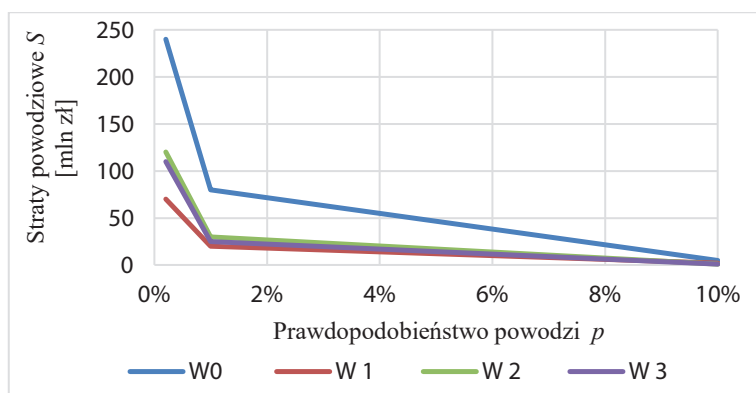
Klasa użytkowania terenu	Wskaźnik wartości majątku/strat [zł/m ²]	Obszar objęty zalaniem [m ²]	Głębokość wody (h) [m]	Funkcja strat f(h) [%]	Straty bezpośrednie [zł]	Straty pośrednie* [zł]
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (1) x (2) x (4)	(6) = (5) x 40%* (6) = (5) x 80%*
Tereny zabudowy mieszkaniowej	514	19 040	$h \leq 0,5$	20	1 957 312	782 925
		6170	$0,5 < h \leq 2$	35	1 109 983	443 993
Tereny przemysłowe	1 028	670	$h \leq 0,5$	20	137 752	110 202
		130	$0,5 < h \leq 2$	40	53 456	42 765
Tereny komunikacyjne	717	8 060	$h \leq 0,5$	5	288 951	
		4 080	$h > 0,5$	10	29 254	
Grunty orne	0,40	46 330			18 532	
Użytki zielone	0,08	58 430				
Lasy	0,04	4 300	4 674 1 612			
Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe	8	2620	20 960 3 621 035			
Ogółem:		149 560			1 379 884	
Ogółem straty (bezpśrednie i pośrednie)						5 000 920

* Teren zabudowy mieszkaniowej luźnej – wskaźnik strat pośrednich: 40% strat bezpośrednich; Tereny zabudowy mieszkaniowej gęstej – wskaźnik strat pośrednich: 80% strat bezpośrednich; Tereny przemysłowe – wskaźnik strat pośrednich: 80% strat bezpośrednich.

Tabela 4.8

Straty powodziowe wyznaczone dla wariantów planistycznych i wariantu zerowego

Prawdopodobieństwo powodzi	Warianty działań – wartość strat [mln zł]			
	W0 (wariant zerowy)	W1	W2	W3
0,2%	240	70	120	110
1%	80	20	30	25
10%	5	2	1	1



II. 4.7. Krzywe prawdopodobieństwa wystąpienia strat powodziowych dla analizowanych wariantów

Średnia roczna strata (ang. *Average Annual Damage* – AAD) jest wyrażona wzorem:

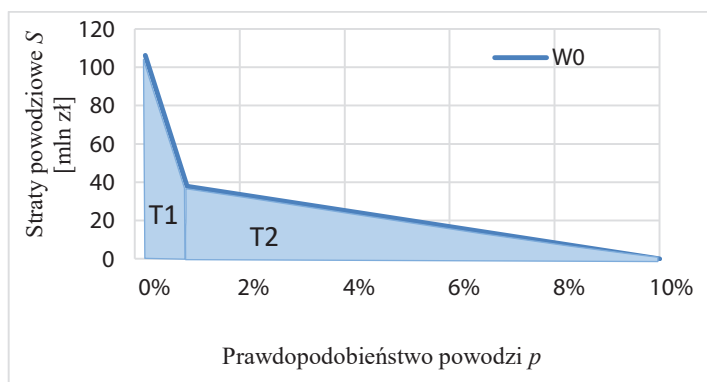
$$AAD = \int_{p_0}^{p_{max}} S \cdot p \, dp$$

gdzie:

S – straty powodziowe,

p – prawdopodobieństwo.

Do wyznaczenia średniej straty AAD można wykorzystać metodę graficzną – całość to pole pod krzywą. Pole pod uproszczonymi krzywymi strat to dwa trapezy, na przykład dla wariantu W0: trapezy T1 i T2 o wymiarach odpowiednio $a = 240$ mln zł, $b = 80$ mln zł, $h = 1 - 0,2 = 0,8\%$ oraz $a = 80$ mln zł, $b = 5$ mln zł, $h = 10 - 1 = 9\%$, stąd pola to 1,28 mln zł i 0,34 mln zł, a zatem średnioroczna strata dla wariantu W0 to 1,62 mln zł.



II. 4.8. Kalkulacja średniorocznej straty za pomocą metody graficznej

W taki sam sposób można wyznaczyć straty średnie roczne, jakie będą występowały w wyniku realizacji wariantów W1, W2 i W3. Różnica pomiędzy stratami w wariantcie W0 a wariantem przewidującym działania to redukcja strat – straty uniknięte dzięki realizacji danego wariantu. Wartości wyznaczone dla analizowanego przykładu przedstawiono w tabeli 4.9.

Tabela 4.9

Straty średnie roczne oraz uniknięte straty powodziowe dla analizowanych wariantów

	Warianty działań – wartość strat [mln zł]			
	W0 (wariant zerowy)	W1	W2	W3
Wartość strat średnich rocznych	1,62	0,45	0,72	0,64
Uniknięte straty (w odniesieniu do wariantu W0)	-	1,17	0,90	0,98

Dodatkowo indeksowane są straty średnioroczne [55]:

- zakłada się, że ze względu na ciągły rozwój gospodarczy wartość majątku (a tym samym strat) rośnie średnio o 5% w skali roku,
- dodatkowo ze względu na zmiany klimatyczne zakłada się, że zagrożenia zmieniają swój charakter i przebieg, powodując narastające negatywne skutki powodzi; w I cyklu planistycznym założono, że z tego tytułu straty będą wzrastać o 0,4% w okresie do 2030 r., a następnie o 0,04%.

Poniżej, w tabeli 4.10, przedstawiono przykładową analizę kosztów i korzyści w zlewni planistycznej dla wariantu, który obejmuje budowę obwałowań, polderów, zbiorników retencyjnych i systemu ostrzegania. Oszacowane następujące pozycje kosztów i korzyści:

- koszt budowy – 3,8 mld zł, realizacja w okresie 5 lat:
- pierwszy rok – prace projektowe: 41,8 mln zł,
- kolejne cztery lata – realizacja: 950 mln zł/rok,
- po zakończeniu budowy – nakłady odtworzeniowe: średniorocznie 79,8 mln zł przez cały okres eksploatacji,
- koszty eksploatacji/operacyjne obliczone na podstawie średnich wskaźników kosztów jednostkowych,
- koszty społeczne oszacowane jako koszty utrudnień w komunikacji, wynikające z natężonego ruchu obsługującego roboty budowlane,
- korzyści: powstała infrastruktura i system ostrzeżeń nie będzie przynosił wpływów pieniężnych/finansowych,
- korekta fiskalna: podatek VAT od wydatków inwestycyjnych wróci w formie przychodu do budżetu państwa, dlatego z punktu widzenia społeczeństwa jest ona ujęta po stronie korzyści,
- korekta o efekty zewnętrzne; obliczono trzy pozycje:
- uniknięte straty bezpośrednie (straty wynikające ze zniszczenia budynków, maszyn, urządzeń, infrastruktury komunikacyjnej, upraw rolnych i leśnych, infrastruktury na terenach rekreacyjnych), które są narastające, gdyż planuje się, że już w drugim roku osiągnięte się zabezpieczenie ok. 50% terenów zagrożonych, a w piątym roku budowy – 100%,
- uniknięte straty pośrednie (uniknięte koszty prowadzenia akcji przeciwpowodziowej, ewakuacji, pomocy medycznej oraz porządkowania po powodzi, strat w majątku obrotowym i w produkcji przedsiębiorstw, strat wynikających z utrudnień i przerw w komunikacji, a także dostępu do usług społecznych itp.),
- uniknięte straty z tytułu funkcjonowania systemów ostrzegania,
- po stronie korzyści uwzględniono również wartość rezydualną, czyli wartość powstałego majątku (polderów, zbiorników retencyjnych i systemu ostrzegania), który na koniec okresu analizy, po 50 latach, będzie posiadał nadal pewną wartość i funkcjonalność oraz będzie mógł być użytkowany przez kolejne lata.

Wykonana analiza kosztów i korzyści pokazuje, że analizowany wariant (wymagający nakładów w wysokości 3,8 mld zł) jest efektywny ekonomicznie, opłacalny i warty realizacji z punktu widzenia społeczeństwa. Zidentyfikowane korzyści, zwłaszcza straty powodziowe, których można uniknąć dzięki realizacji zaplanowanych działań, dalece przekraczają koszty budowy i późniejszej eksploatacji. Świadczą o tym wskaźniki efektywności. Wartość zaktualizowana wariantu (ENPV) wynosi 6,2 mld zł – o tyle sumaryczne korzyści przekraczają koszty, zatem relacja korzyści do kosztów (B/C) wynosi 2,22, co oznacza, że oszacowane korzyści są ponaddwukrotnie wyższe niż koszty.

Należy jednak pamiętać, że analiza kosztów i korzyści nie obejmuje wszystkich efektów inwestycji, takich jak koszty środowiskowe czy koszty społeczne związane z przesiedleniami. Istotne jest również to, że analiza ekonomiczna jest sporządzana

Tabela 4.10

Przykładowa analiza kosztów i korzyści dla wariantu obejmującego budowę obwałowań, polderów, zbiorników retencyjnych i systemu ostrzegania

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	...	2064
KOSZTY [tys. zł]								
1. Koszty inwestycyjne i odtworzeniowe	41 800	950 000	950 000	950 000	950 000	79 800		79 800
2. Koszty eksploatacji	0	9 650	12 063	15 078	18 848	23 560		42 879
3. Koszty społeczne	0	1 750	1 750	1 750	1 750	0		0
I. Koszty razem	41 800	961 400	963 813	966 829	970 598	103 360		122 679
KORZYŚCI [tys. zł]								
1. Korekty fiskalne (podatek VAT 23% od kosztów inwestycyjnych)	9 614	218 500	218 500	218 500	218 500	18 354		18 354
2. Korekty o efekty zewnętrzne, w tym:	0	93 009	98 031	103 325	195 905	206 484		2 414 226
a) Uniknięte bezpośrednie straty powodziowe	0	69 100	72 831	76 764	121 364	127 918		1 535 808
b) Uniknięte pośrednie straty powodziowe	0	23 909	25 200	26 560	41 992	44 260		531 389
c) Uniknięte straty z tytułu funkcjonowania systemów ostrzegania		0	0	0	32 549	34 307		347 029
3. Wartość rezydualna	0	0	0	0	0	0		2 042 800
II. Korzyści razem	9 614	311 509	316 531	321 825	414 405	224 838		4 475 380
III. Przepływy pieniężne netto (Korzyści - Koszty) (III) = (II) - (I)	-32 186	-649 892	-647 282	-645 004	-556 193	121 478		4 352 701
IV. Współczynnik dyskontowy	1,000	0,952	0,907	0,864	0,823	0,784		0,092
V. Zdyskontowane przepływy pieniężne netto (V) = (III) x (IV)	-32 186	-618 945	-587 104	-557 179	-457 581	95 181		398 550
ENPV [tys. zł]	6 219 432							
ERR	11,57%							
Suma korzyści (B) [tys. zł]	11 306 410							
Suma kosztów (C) [tys. zł]	5 086 978							
Relacja Korzyści/ Koszty (B/C)	2,22							

dla obszarów problemowych i działania, które są efektywne i skuteczne dla tego obszaru, mogą wywoływać negatywne skutki w zlewni poniżej. Na przykład budowa obwałowań może zabezpieczyć tereny na danym obszarze, ale może też podnieść przepływy (np. przez zawężenie terasy zalewowej) i zwiększyć ryzyko (potencjalne straty) na terenach położonych poniżej. Dlatego ostatecznej oceny wariantów dokonuje się w kolejnym kroku w ramach analizy wielokryterialnej.

4.2.7. OCENA WIELOKRYTERIALNA WARIANTÓW. WYBÓR WARIANTU PREFEROWANEGO

Analiza wielokryterialna wariantów ma na celu ich względną ocenę pod kątem wszystkich istotnych kryteriów, które obrazują wpływ/efekty wariantu od strony ekonomicznej, społecznej i środowiskowej, a także skuteczność rozwiązywania problemów zagrożenia powodziowego. W I cyklu planistycznym przy sporządzaniu pierwszych planów zarządzania ryzykiem powodziowym wskazano 16 kryteriów istotnych dla oceny wariantów (ujętych w cztery grupy). Ich zestawienie przedstawiono w tabeli 4.11 [55, 62].

Tabela 4.11

Kryteria zastosowane w analizie wielokryterialnej wariantów. Źródło: [55]

Lp.	Nazwa kryterium	Jednostka
Kryteria ekonomiczne		
1	Szacunkowy koszt realizacji działania	PLN
2	Koszt odszkodowań i wykupu gruntów oraz obiektów	PLN
3	Ograniczenie strat powodziowych na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią oraz zagrożonych wskutek awarii urządzeń wodnych – określane dla poszczególnych typów użytkowania terenu	PLN
Kryteria społeczne		
4	Liczba budynków chronionych na obszarach szczególnego zagrożenia powodziowego ($p = 1\%$)	szt.
5	Liczba budynków na obszarach chronionych wałami, wydłami i budowlami pasa technicznego, zalewanych wskutek awarii urządzeń wodnych $> 0,5\text{m}$, których standard ochrony ulegnie podwyższeniu	szt.
6	Liczba budynków zakwalifikowanych do wykupu i przeniesienia	szt.
7	Wielkość obszarów, dla których wprowadzone zostaną specjalne warunki zagospodarowania przestrzennego	ha
8	Liczba chronionych obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym	szt.
9	Liczba chronionych obszarów i obiektów dziedzictwa kulturowego	szt.
Kryteria środowiskowe		
10	Oddziaływanie na obszary chronione (parki narodowe, rezerваты przyrody, parki krajobrazowe, obszary Natura 2000)	Ocena ekspercka

Lp.	Nazwa kryterium	Jednostka
11	Oddziaływanie na krajowe i regionalne korytarze ekologiczne	Ocena ekspercka
12	Oddziaływanie na cele ochrony wód w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej	Ocena ekspercka
Kryteria powodziowe		
13	Zmniejszenie wielkości przepływu o $p = 1\%$ w głównych odbiornikach danego obszaru	m ³ /s
14	Wielkość retencji powodziowej urządzeń wodnych w stosunku do objętości wezbrania $p = 1\%$	%
15	Wpływ na przyszłą retencję zlewni	Ocena ekspercka
16	Adaptacja do zmian klimatu	Ocena ekspercka

Do analizy zastosowano metodę AHP (*Analytic Hierarchy Process*), która wykorzystuje porównywanie parami w celu wyznaczenia wag grup kryteriów, wag kryteriów wewnątrz grupy, a także – ostatecznie – ocenę wariantów według kryteriów. Przyjęte wagi grup kryteriów oraz wagi wewnątrz grup przedstawiono w tabeli 4.12.

Tabela 4.12

Wagi grup kryteriów zastosowane w analizie wielokryterialnej wariantów. Źródło: [55]

Lp.	Grupa kryterium	waga
1	Kryteria ekonomiczne	14,8%
2	Kryteria społeczne	29,5%
3	Kryteria środowiskowe	21,6%
4	Kryteria powodziowe	34,1%
Lp.	Kryterium	waga
Kryteria ekonomiczne		
1	Szacunkowy koszt realizacji działania	29,3%
2	Koszt odszkodowań i wykupu gruntów oraz obiektów	28,7%
3	Ograniczenie strat powodziowych	42,0%
Lp.	Kryterium	waga
Kryteria społeczne		
1	Liczba budynków chronionych na obszarach zagrożenia ($p = 1\%$)	16,7%
2	Liczba budynków na obszarach chronionych, zalewanych wskutek awarii urządzeń wodnych $> 0,5\text{m}$, których standard ochrony ulegnie podwyższeniu	14,6%
3	Liczba budynków zakwalifikowanych do wykupu i przeniesienia	10,7%

Lp.	Kryterium	waga
4	Wielkość obszarów, dla których wprowadzone zostaną specjalne warunki zagospodarowania przestrzennego	14,6%
5	Liczba chronionych obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym	22,0%
6	Liczba chronionych obszarów i obiektów dziedzictwa kulturowego	21,3%

Lp.	Kryterium	waga
Kryteria środowiskowe		
1	Oddziaływanie na obszary chronione (parki narodowe, rezerwy przyrody, parki krajobrazowe, obszary Natura 2000)	30,0%
2	Oddziaływanie na krajowe i regionalne korytarze ekologiczne	20,0%
3	Oddziaływanie na cele ochrony wód w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej	50,0%

Lp.	Kryterium	waga
Kryteria powodziowe		
1	Zmniejszenie wielkości przepływu o $p = 1\%$ w głównych odbiornikach danego obszaru	34,2%
2	Wielkość retencji powodziowej urządzeń wodnych w stosunku do objętości wezbrania $p = 1\%$	27,0%
3	Wpływ na przyszłą retencję zlewni	19,8%
4	Adaptacja do zmian klimatu	19,0%

Wagi odzwierciedlają ważność/istotność kryteriów. Na przykład przyjęte wartości wag dla grup kryteriów oznaczają, że kryteria powodziowe są dwa razy ważniejsze niż kryteria ekonomiczne.

Wagi wewnątrz grup są także zróżnicowane. I tak w grupie kryteriów ekonomicznych najważniejsze jest kryterium trzecie – ograniczenie strat powodziowych. Oznacza to na przykład, że wyżej zostanie oceniony wariant, który bardziej redukuje straty, nawet jeśli będzie droższy w realizacji (oczywiście w pewnym zakresie liczbowym). W kryteriach środowiskowych największą wagę przykłada się do oceny wpływu na cele środowiskowe, wynikające z Ramowej Dyrektywy Wodnej, a w kryteriach powodziowych najistotniejszą wagę ma kryterium, które pokazuje wpływ na zmniejszenie wielkości przepływów powodziowych na cieku głównym, które między innymi odzwierciedla problem transferu ryzyka na długości cieku pomiędzy zlewniami.

Na podstawie wag grup kryteriów oraz wag wewnątrz grupy można wyliczyć ostateczne wagi dla poszczególnych kryteriów, których wartości przedstawiono w tabeli 4.13.

Najsilniejsze oddziaływanie na końcową ocenę wariantów, przez najwyższe wagi, mają kryteria: zmniejszenie wielkości przepływu wody stuletniej, oddziaływanie na cele ochrony wód oraz wielkość retencji powodziowej. Ponadto istotne są dwa pozostałe kryteria powodziowe (wpływ na przyszłą retencję zlewni oraz adaptacja do zmian klimatu), dwa kryteria społeczne (ochrona obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym oraz dziedzictwo kulturowe), wpływ na obszary chronione oraz

Tabela 4.13

Wartości wag kryteriów zastosowane w analizie wielokryterialnej wariantów. Źródło: [55]

Lp.	Kryterium	waga
1	Szacunkowy koszt realizacji działania	4,3%
2	Koszt odszkodowań i wykupu gruntów oraz obiektów	4,2%
3	Ograniczenie strat powodziowych	6,2%
4	Liczba budynków chronionych w obszarach zagrożenia ($p = 1\%$)	4,9%
5	Liczba budynków na obszarach chronionych, zalewanych wskutek awarii urządzeń wodnych $> 0,5\text{m}$, których standard ochrony ulegnie podwyższeniu	4,3%
6	Liczba budynków zakwalifikowanych do wykupu i przeniesienia	3,2%
7	Wielkość obszarów, dla których wprowadzone zostaną specjalne warunki zagospodarowania przestrzennego	4,3%
8	Liczba chronionych obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym	6,5%
9	Liczba chronionych obszarów i obiektów dziedzictwa kulturowego	6,3%
10	Oddziaływanie na obszary chronione (parki narodowe, rezerwy przyrody, parki krajobrazowe, obszary Natura 2000)	6,5%
11	Oddziaływanie na krajowe i regionalne korytarze ekologiczne	4,3%
12	Oddziaływanie na cele ochrony wód w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej	10,8%
13	Zmniejszenie wielkości przepływu o $p = 1\%$ w głównych odbiornikach danego obszaru	11,7%
14	Wielkość retencji powodziowej urządzeń wodnych w stosunku do objętości wezbrania $p = 1\%$	9,2%
15	Wpływ na przyszłą retencję zlewni	6,7%
16	Adaptacja do zmian klimatu	6,5%

ograniczenie strat powodziowych. Warto zauważyć, że w większości są to kryteria, które nie były wzięte pod uwagę w analizie ekonomicznej efektywności (AKK), ponieważ ich pieniężna ocena jest bardzo trudna lub wręcz niemożliwa. W ten sposób analiza wielokryterialna uzupełnia wąską analizę przeprowadzoną w ramach analizy kosztów i korzyści.

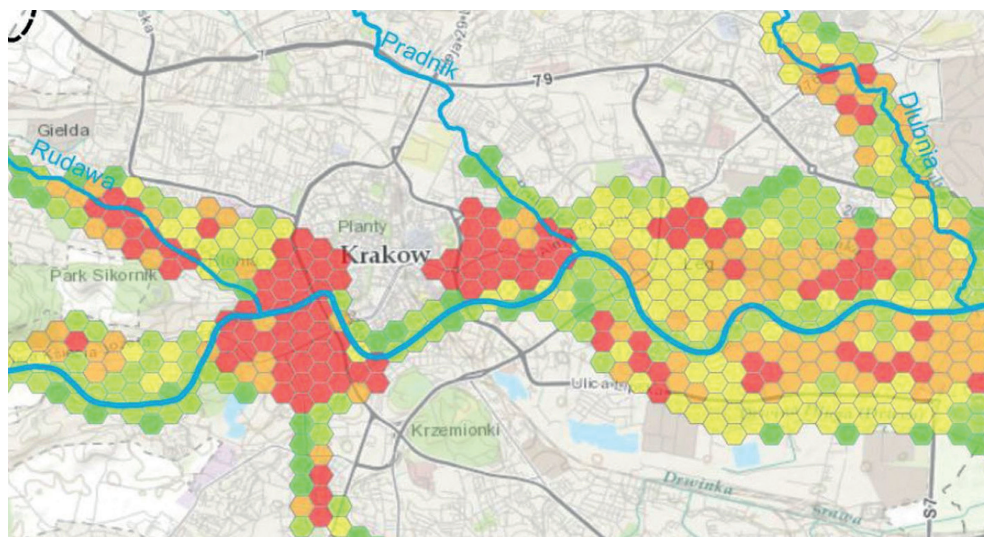
Mając ustalone kryteria oceny oraz wagi, można dokonać oceny wariantów i wybrać ten preferowany, czyli najlepszy spośród przyjętych do analizy. Przykładowa analiza wariantów dla obszaru problemowego obejmującego Kraków zostanie przedstawiona w kolejnym podrozdziale.

4.2.8. WYBRANE WYNIKI PLANU ZARZĄDZANIA RYZYKIEM POWODZIOWYM NA OBSZARZE KRAKOWA

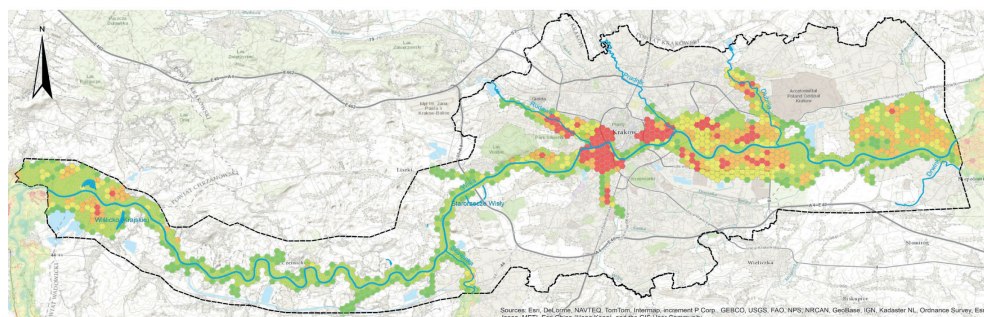
Ryzyko powodziowe, zidentyfikowane w ramach analiz i przedstawione na mapach zagrożenia powodziowego oraz mapach ryzyka powodziowego (przedstawione

w rozdz. 3.3.3), niesie wiele informacji, które na potrzeby dalszego opracowania planu zarządzania ryzykiem powodziowym zostało wykorzystane do wyznaczenia tzw. ryzyka zintegrowanego, zawierającego wszystkie ryzyka częściowe (zdrowie i życie ludzi, działalność gospodarcza, środowisko i dziedzictwo kulturowe).

Ocena ryzyka zintegrowanego została przeprowadzona według metodyki przedstawionej w rozdziale 4.2.2. Przestrzenny rozkład ryzyka dla wybranej centralnej części miasta przedstawia mapa na ilustracji 4.9.



II. 4.9. Przestrzenny rozkład ryzyka powodziowego na terenie Krakowa. Pięciostopniowa skala oceny poziomu ryzyka: kolor czerwony – bardzo wysoki, pomarańczowy – wysoki, żółty – umiarkowany, jasnozielony – niski, ciemnozielony – bardzo niski. Źródło: [55]



II. 4.10. Hot-spot Kraków – obszar analizy na potrzeby planu zarządzania ryzykiem powodziowym. Przestrzenny rozkład ryzyka powodziowego; skala poziomu ryzyka: kolor czerwony – bardzo wysoki, pomarańczowy – wysoki, żółty – umiarkowany, jasnozielony – niski, ciemnozielony – bardzo niski. Źródło: [55]

Poziom ryzyka dla znaczącego obszaru miasta został oszacowany jako bardzo wysoki i wysoki. Analizy wykonane dla Krakowa objęły swoim zasięgiem nie tylko obszar miasta, ale również odcinek Wisły położony powyżej (od ujścia Soły), z uwagi na fakt, że zagrożenie w znacznej mierze jest generowane właśnie tam. Do analiz włączono również Wisłę poniżej Krakowa (do ujścia Nidy), ponieważ z kolei tam jest przenoszone ryzyko powodziowe. Cały obszar problemowy, tzw. hot-spot, objęty modelowaniem, w którym rozważano podjęcie działań pozwalających na obniżenie ryzyka w Krakowie, pokazano na ilustracji 4.10.

Przeprowadzona identyfikacja zagrożeń prowadzi do konkluzji, że istniejąca infrastruktura w postaci obwałowań (jej parametry i stan techniczny) oraz charakter obszarów chronionych (zabudowa o wysokiej i stale rosnącej wartości) nie zapewniają pożądanego poziomu zabezpieczenia. Awaria obwałowań może skutkować zalaniem ok. 1/4 obszaru miasta – zabudowy mieszkalnej, infrastruktury, strategicznych zakładów przemysłowych oraz licznych zabytków klasy światowej [55].

Opracowano trzy warianty planistyczne [55]:

- wariant planistyczny W1 – nietechniczny, polegający na przesiedleniu mieszkańców terenów zagrożonych zalaniem o głębokości powyżej 2 m oraz zabezpieczeniu indywidualnym budynków zagrożonych zalaniem poniżej 2 m podczas powodzi o prawdopodobieństwie wystąpienia 1% przy założeniu przerwania okolicznych obwałowań,
- wariant planistyczny W2 – techniczny, polegający na pełnym obwałowaniu doliny Wisły, w którym parametry wałów uniemożliwiają przelew poza międzywale,
- wariant planistyczny W3 – mieszany, obejmujący budowę suchych polderów wzdłuż brzegów Wisły od ujścia Skawy do Krakowa oraz założenie pełnego obwałowania doliny Wisły.

Wariant W1 jest wariantem teoretycznym: skala wysiedleń i zabezpieczeń nie byłaby akceptowalna zarówno pod względem społecznym (wysiedlenie ponad 1,6 tys. budynków), jak i finansowym (koszt ok. 5 mld zł). Jego celem jest odzwierciedlenie wielkości kosztów społecznych w przypadku braku realizacji inwestycji zabezpieczających.

Wariant W2 – budowa i modernizacja obwałowań: koszt realizacji ok. 844 mln zł, redukcja strat powodziowych 733 mln zł, liczba budynków zakwalifikowanych do wykupu/przeniesienia – 16, liczba chronionych obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym – 15.

Wariant W3 – budowa polderów i obwałowań: koszt realizacji ok. 955 mln zł, redukcja strat powodziowych 709 mln zł, liczba budynków zakwalifikowanych do wykupu/przeniesienia – 9, liczba chronionych obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym – 15, dodatkowe korzyści – zmniejszenie wielkości przepływu $Q_{1\%}$ o 243 m³/s oraz uzyskanie retencji powodziowej na poziomie 2% dla przepływu wezbraniowego $Q_{1\%}$.

W tabeli 4.14 przedstawiono trzy warianty analizowane dla obszaru problemowego hot-spot Kraków. Opracowano wariant nietechniczny W1, w którym zaplanowano

przesiedlenia wszystkich mieszkańców z obszaru zagrożonego zalaniem wodą $Q_{1\%}$, wariant techniczny W2, w którym przyjęto rozbudowę i modernizację istniejących oraz budowę nowych obwałowań, które zabezpieczą zidentyfikowane zagrożone obszary przed wodą stuletnią, oraz wariant W3, który obejmuje budowę retencji polderowej powyżej Krakowa oraz modernizację obwałowań.

Tabela 4.14

Przykładowe warianty analizowane w hot-spot Kraków. Źródło: [55]

Nazwa kryterium	Jednostka	W1 Nietechniczny – wykupy i wysiedlenia	W2 Techniczny – wały	W3 Mieszany – wały i poldery
Szacunkowy koszt realizacji działania	tys. zł	1 055	815 960	935 890
Koszt odszkodowań i wykupu gruntów oraz obiektów	tys. zł	1 010 912	26 471	18 993
Ograniczenie strat powodziowych	tys. zł	0	733 373	709 104
Liczba budynków chronionych w obszarach zagrożenia ($p = 1\%$)	szt.	5 827	915	911
Liczba budynków zalewanych wskutek awarii urządzeń, których standard ochrony ulegnie podwyższeniu	szt.	0	15 566	15 575
Liczba budynków zakwalifikowanych do wykupu i przeniesienia	szt.	1 632	16	9
Wielkość obszarów, dla których wprowadzone zostaną specjalne warunki zagospodarowania	ha	21667	3412	3306
Liczba chronionych obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym	szt.	0	15	15
Liczba chronionych obszarów i obiektów dziedzictwa kulturowego	szt.	0	0	0
Oddziaływanie na obszary chronione	-	10	10	10
Oddziaływanie na krajowe i regionalne korytarze ekologiczne	-	10	8	8
Oddziaływanie na cele ochrony wód w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej	-	10	10	10
Zmniejszenie wielkości przepływu o $p = 1\%$ w głównych odbiornikach	m ³ /s	0	-128	243
Wielkość retencji powodziowej urządzeń jako procent objętości $Q_{1\%}$	%	0	0,01	1,7
Wpływ na przyszłą retencję zlewni	-	1	1	5
Adaptacja do zmian klimatu	-	1	1	5

W procedurze obliczeniowej metodą AHP dokonano oceny porównawczej wariantów według poszczególnych kryteriów. Dzięki temu osiągnięto znormalizowane (do tej samej skali) oceny wariantów według kryteriów (zamiast oceny według wielkości w różnych nieprzystających do siebie skalach i jednostkach). Oceny końcowej wariantów dokonuje się przez obliczenie sumy ważonej. Najlepszy okazał się wariant W3, który uzyskał wynik 56,4%, lepszy ponaddwukrotnie od W2 i trzykrotnie od W1.

Tabela 4.15

Ocena wielokryterialna (metodą AHP) wariantów analizowanych w hot-spot Kraków. Źródło: [55]

Nazwa kryterium	Wagi	W1 Nietechniczny – wykupy i wysiedlenia	W2 Techniczny – wały	W3 Mieszany – wały i poldery
Szacunkowy koszt realizacji działania	4,3%	29,2%	37,8%	33,0%
Koszt odszkodowań i wykupu gruntów oraz obiektów	4,2%	1,1%	41,3%	57,6%
Ograniczenie strat powodziowych	6,2%	0,0%	50,8%	49,2%
Liczba budynków chronionych w obszarach zagrożenia ($p = 1\%$)	4,9%	76,1%	12,0%	11,9%
Liczba budynków zalewanych wskutek awarii urządzeń, których standard ochrony ulegnie podwyższeniu	4,3%	0,0%	50,0%	50,0%
Liczba budynków zakwalifikowanych do wykupu i przeniesienia	3,2%	0,4%	35,9%	63,8%
Wielkość obszarów, dla których wprowadzone zostaną specjalne warunki zagospodarowania	4,3%	7,2%	45,7%	47,1%
Liczba chronionych obiektów o szczególnym znaczeniu społecznym	6,5%	0,0%	50,0%	50,0%
Liczba chronionych obszarów i obiektów dziedzictwa kulturowego	6,3%	33,3%	33,3%	33,3%
Oddziaływanie na obszary chronione	6,5%	33,3%	33,3%	33,3%
Oddziaływanie na krajowe i regionalne korytarze ekologiczne	4,3%	38,5%	30,8%	30,8%
Oddziaływanie na cele ochrony wód w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej	10,8%	33,3%	33,3%	33,3%
Zmniejszenie wielkości przepływu o $p = 1\%$ w głównych odbiornikach	11,7%	0,0%	0,0%	100,0%
Wielkość retencji powodziowej urządzeń jako procent objętości Q1%	9,2%	0,6%	0,6%	98,8%

Nazwa kryterium	Wagi	W1 Nietechniczny – wykupy i wysiedlenia	W2 Techniczny – wały	W3 Mieszany – wały i poldery
Wpływ na przyszłą retencję zlewni	6,7%	14,3%	14,3%	71,4%
Adaptacja do zmian klimatu	6,5%	14,3%	14,3%	71,4%
Ocena wariantów (suma ważona)		16,9%	26,8%	56,4%

W celu wyboru wariantu preferowanego dokonano analizy wielokryterialnej wariantów, które były oceniane według kryteriów ekonomicznych, społecznych, środowiskowych i powodziowych. Najwyższą ocenę uzyskał wariant W3 (ocena 56%), a wariant W2 (27%), pomimo mniejszego kosztu został oceniony znacznie niżej. Decydująca była ocena według kryteriów powodziowych, bowiem wariant W2 podwyższa ryzyko powodziowe poniżej Krakowa, podczas gdy wariant W3 obniża to ryzyko i przynosi korzyści w zakresie adaptacji do zmian klimatycznych przez stworzenie pojemności retencyjnej.

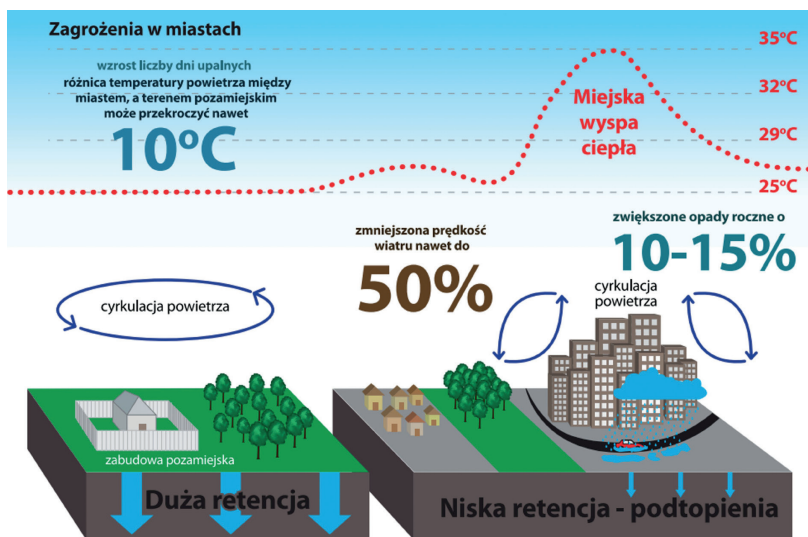
Ostatecznie w PZRP jako optymalny, prowadzący do obniżenia ryzyka powodziowego w Krakowie, znalazł się wariant W3, obejmujący wzrost retencji dolinowej Wisły dzięki budowie suchych polderów wzdłuż brzegów Wisły na odcinku od ujścia Skawy do Krakowa, odsunięciu lub likwidacji wałów oraz modernizacji wybranych istniejących odcinków obwałowań. Dodatkowo przewidziano działania nietechniczne w postaci doskonalenia systemu prognozowania i ostrzegania o zagrożeniach meteorologicznych oraz hydrologicznych.

4.3. PLANY ADAPTACJI MIAST DO ZMIAN KLIMATU

Zarówno w kraju, jak i na całym świecie skutki zmian klimatu stają się coraz dotkliwiej odczuwalne. Obserwuje się globalne ocieplenie klimatu, zmianom uległy naturalne procesy klimatyczne, wzrosła się częstotliwość i nasiliły zjawiska ekstremalne [73]. Niekorzystne skutki tych zmian są szczególnie widoczne na obszarach zurbanizowanych, z jednej strony z powodu wysokiej gęstości zaludnienia, z drugiej zaś występowania dodatkowych negatywnych zjawisk, między innymi takich jak podtopienia, nawalne deszcze czy miejska wyspa ciepła.

Problem zmian klimatu, wzrastającego poziomu zagrożeń i pogarszającej się jakości życia mieszkańców stanowią ważny przedmiot polityki Unii Europejskiej. W 2009 r. powstała biała księga *Adaptacja do zmian klimatu: europejskie ramy działania* (COM (2009) 147 final), a w 2013 r. Komisja Europejska opublikowała *Strategię UE w zakresie przystosowania się do zmiany klimatu* (COM(2013) 216 final).

W odpowiedzi na zalecenia polityki unijnej Polska opracowała w 2013 r. *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020*



II. 4.11. Główne zagrożenia w miastach, powodowane zmianami klimatycznymi i zagospodarowaniem terenu. Źródło: <https://klimada.mos.gov.pl/wp-content/uploads/2014/12/Miasta-infografika-MŚ.pdf> (dostęp: 15.06.2020)

z perspektywą do roku 2030 (SPA2020), a następnie Ministerstwo Środowiska uruchomiło projekty współfinansowane ze środków unijnych (KLIMADA, ADAPTCITY, MPA44), w ramach których opracowano analizy zmian klimatu i wynikające z nich zagrożenia, przygotowano *Podręcznik adaptacji dla miast. Wytyczne do przygotowania Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu* [52], a następnie opracowano miejskie plany adaptacji do zmian klimatu dla Warszawy oraz 44 największych miast w Polsce.

Ryzyko powodziowe jest istotnym elementem planów adaptacji do zmian klimatu, dlatego też zarówno dokumenty unijne, jak i krajowe wytyczne do przygotowania miejskiego planu adaptacji zwracają uwagę na narastające zagrożenia ze strony powodzi rzecznych oraz powodzi opadowych (powodowanych najczęściej deszczami nawalnymi, wzrostem uszczelnienia terenów zurbanizowanych i niewydolnością systemów odwadniania miast).

4.3.1. METODYKA SPORZĄDZANIA MIEJSKICH PLANÓW ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w podręczniku [52], sporządzanie miejskich planów adaptacji jest podzielone na kilka głównych etapów, wspartych szerokimi konsultacjami zarówno z władzami miasta, jednostkami administracji niezespólonej (regionalne zarządy gospodarki wodnej – obecnie PGW Wody Polskie, regionalne dyrekcje ochrony środowiska) oraz służbami (inspekcja sanitarna, inspekcja nadzoru

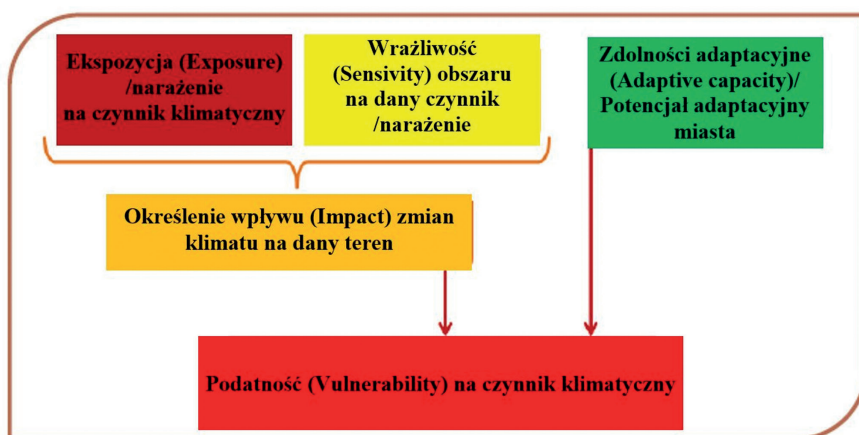


II. 4.12. Główne etapy sporządzania miejskiego planu adaptacji do zmian klimatu. Źródło: [51]

budowlanego), jak i przedstawicielami lokalnych społeczności oraz innych interesariuszy. Schemat sporządzania miejskiego planu adaptacji przedstawiono na ilustracji 4.12.

OCENA PODATNOŚCI MIASTA NA ZMIANY KLIMATU

Początkowy etap – ocena podatności miasta na zmiany klimatu – ma na celu **diagnozować problem**, w ramach której określa się *zagrożenia klimatyczne* oraz *ekspozycję i wrażliwość miasta* na poszczególne czynniki klimatyczne oraz istniejące *zdolności adaptacyjne* miasta. Są to kluczowe zmienne definiujące *podatność miasta na zmiany klimatu*, która jest wypadkową/funkcją tych zmiennych. Schemat oceny przedstawiono na ilustracji 4.13.



II. 4.13. Elementy niezbędne do określenia podatności danego terenu na czynnik klimatyczny. Źródło: [52]

Czynniki klimatyczne, hydrologiczne i ich pochodne, które są związane ze zmianami klimatu, zależą od zjawisk, które występują na analizowanym obszarze. Najczęściej poddawane są analizie fale upałów, fale zimna, susze, deszcze nawalne, burze, powodzie/podtopienia, ale także zanieczyszczenie powietrza (w miastach, w których występuje problem smogu) czy też sztormy (na obszarach nadmorskich). Najważniejsze wskaźniki, dla których wykonywane są analizy trendów zmian historycznych oraz scenariuszy klimatycznych, to między innymi średnia, maksymalna i minimalna temperatura powietrza, liczba i długość fal upałów i zimna, wysokość opadów (w tym opadów nawalnych), liczba i długość okresów bezopadowych, liczba dni z burzą, obszary zagrożone powodzią czy stężenia zanieczyszczeń powietrza. Analiza trendów pozwala na określenie, które zjawiska stanowią lub mogą stanowić istotne zagrożenie w danym mieście, a tym samym pozwala na określenie ekspozycji na czynnik klimatyczny.

Wrażliwość miasta na poszczególne czynniki klimatyczne zależy od charakterystyki danego obszaru. Inny wpływ mają deszcze nawalne na tereny o luźnej zabudowie z dużym udziałem terenów zielonych, które naturalnie retencjonują opady, a zupełnie inny na tereny o zwartej zabudowie śródmiejskiej o wysokiej gęstości zaludnienia i wysokim stopniu uszczelnienia, gdzie skutkiem są gwałtowne podtopienia. Zróżnicowane oddziaływanie zmian klimatycznych można zaobserwować również w społeczności mieszkańców – fale upałów, zanieczyszczenie powietrza/smog są zdecydowanie najgroźniejsze w skutkach dla zdrowia i życia osób starszych i dzieci. Zmiany klimatyczne mają także zróżnicowany wpływ na poszczególne sektory: transport, rolnictwo, energetykę czy przemysł. Stąd analizy wrażliwości dokonuje się w tzw. sektorach/obszarach wrażliwych na zmiany klimatyczne. Zalecane przez metodykę sektory to: zdrowie publiczne/grupy wrażliwe (mieszkańcy i infrastruktura służąca ochronie zdrowia i życia), transport, energetyka, gospodarka wodna, infrastruktura, budownictwo, turystyka, przemysł, różnorodność biologiczna, leśnictwo, rolnictwo, strefa wybrzeża. Ocena wrażliwości może być dokonana przez określenie klasy wrażliwości według przyjętej skali jakościowej. Na przykład wrażliwość sektora na dane zagrożenie klimatyczne może być [52]:

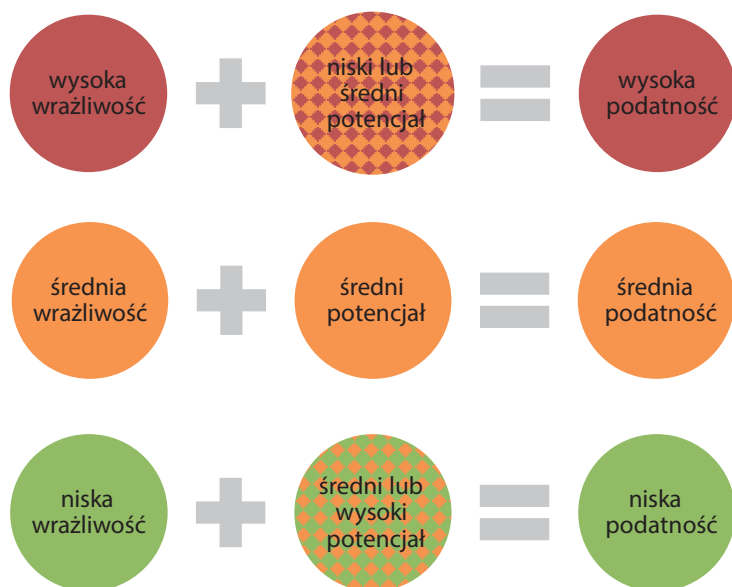
- **wysoka:** sektor/obszar jest bardzo wrażliwy i mocno narażony na oddziaływanie analizowanego zjawiska atmosferycznego i jednocześnie zdolność adaptacji jest średnia lub niska,
- **średnia:** obszar jest średnio wrażliwy i średnio narażony na oddziaływanie analizowanego zjawiska atmosferycznego i jednocześnie zdolność adaptacji jest średnia lub wysoka,
- **niska:** obszar funkcjonalny miasta jest bardzo mało wrażliwy lub niewrażliwy na oddziaływanie analizowanego zjawiska atmosferycznego i jednocześnie zdolność adaptacji jest średnia lub wysoka.

Potencjał adaptacyjny określa się przez analizę przygotowania miasta na zmiany klimatu. Wytyczne do przygotowania MPA mówią, że potencjał może być określony przez odpowiedź na pytanie: „Jaką możliwość (finansową, technologiczną,

społeczną) adaptacji do określonych skutków zmian klimatu posiada dany region? Tak postawiony problem polega zatem na analizie istniejących rozwiązań (finansowych, technologicznych, społecznych, organizacyjnych) w poszczególnych sektorach. Proponuje się zastosowanie jakościowej oceny w trzystopniowej skali, która pozwala na kwalifikację potencjału adaptacyjnego do jednej z trzech klas [52]:

- **wysokiej** zdolności do adaptacji: obszar jest przygotowany do skutków zmian klimatu,
- **średniej** zdolności do adaptacji: obszar jest przygotowany jedynie częściowo do działań zmniejszających negatywny wpływ skutków zmian klimatu,
- **niskiej** zdolności do adaptacji: obszar nie jest przygotowany do zmniejszania wrażliwości na skutki zmian klimatu i każda zmiana lub próba adaptacji będzie wiązała się ze znacznymi kosztami i wysiłkiem.

Mając określoną ekspozycję, wrażliwość oraz zdolności/potencjał adaptacyjny, można określić **podatność** miasta na zmiany klimatyczne. Również tym razem zalecane są przede wszystkim analityczne metody jakościowe opisowe lub dodatkowo metody graficzne oparte na analizach mapowych, agregujących trzy oceny cząstkowe (ekspozycja, wrażliwość, potencjał) do ostatecznej wielkości podatności wybranych sektorów na analizowane istotne zagrożenia [52]. Zespół opracowujący MPA dla Krakowa zdecydował się na ocenę opisową wykorzystującą oceny cząstkowe i zastosowanie trzystopniowej skali (wysoka, średnia, niska podatność) według przykładowych schematów przedstawionych na ilustracji 4.14 [51].



II. 4.14. Przykładowe schematy oceny podatności na zmiany klimatu wg przyjętej trzystopniowej skali. Źródło: [51]

ANALIZA RYZYKA ZWIĄZANEGO ZE ZMIANAMI KLIMATU

Oszacowanie ryzyka zmian klimatycznych stanowi finalny etap diagnozy problemu. Ryzyko związane ze zmianami klimatycznymi jest definiowane według standardowego podejścia – wynika z *prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń* wywołanych zmianami klimatu oraz możliwych negatywnych *konsekwencji/skutków* ich wystąpienia. Zarówno oszacowanie prawdopodobieństwa, jak i skutków zmian klimatycznych w kategoriach ilościowych/liczbowych jest bardzo trudne. Z tego powodu ryzyko jest szacowane w sposób analityczny – opisowy. W podręczniku [52] podano przykład szacowania wielkości prawdopodobieństwa i konsekwencji zmian klimatycznych według skali pięciostopniowych:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska:
- mało prawdopodobne,
- pojawiające się okazjonalnie,
- pojawiające się częściej niż raz w ciągu 20 lat,
- pojawiające się częściej niż raz w ciągu 10 lat,
- pewne wystąpienie zjawiska,
- konsekwencje wystąpienia zagrożenia:
- katastrofalne,
- wysokie,
- średnie,
- niskie,
- nieistotne.

Tabela 4.16

Przykładowa macierz wyznaczenia priorytetowego obszaru najbardziej narażonego na wystąpienie danego zagrożenia. Źródło: [52]

Mało prawdopodobne		Prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska				
		Pojawiające się okazjonalnie	Pojawiające się częściej niż raz w ciągu 20 lat	Pojawiające się częściej niż raz w ciągu 10 lat	Pewne wystąpienie zjawiska	
Powodowane konsekwencje	Katastrofalne	Średni priorytet	Średni priorytet	Wysoki priorytet	Wysoki priorytet	Bardzo wysoki priorytet
	Wysokie	Niski priorytet	Średni priorytet	Średni priorytet	Wysoki priorytet	Bardzo wysoki priorytet
	Średnie	Niski priorytet	Niski priorytet	Średni priorytet	Wysoki priorytet	Wysoki priorytet
	Niskie	Niski priorytet	Niski priorytet	Średni priorytet	Średni priorytet	Wysoki priorytet
	Nieistotne	Niski priorytet	Niski priorytet	Niski priorytet	Średni priorytet	Średni priorytet

Sposób oszacowania ryzyka wywołwanego przez badane zagrożenie dla danego obszaru/sektora wraz z jednoczesnym określeniem priorytetu tego obszaru/sektora przedstawia tabela 4.16.

OPRACOWANIE OPCJI ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU

Miasto – mieszkańcy, jego infrastruktura, gospodarka, środowisko przyrodnicze – można przygotować do zmian klimatycznych na wiele różnych sposobów. Rozwiązania adaptacyjne mogą mieć charakter działań technicznych oraz nietechnicznych (organizacyjnych, edukacyjnych, informacyjnych itd.). Dobór opcji adaptacji wynika w dużej mierze z diagnozy wyznaczonych obszarów priorytetowych oraz istniejących zdolności adaptacyjnych miasta. Tak jak w przypadku innych ryzyk naturalnych, nie jest możliwe całkowite zlikwidowanie zagrożenia i ich skutków. Celem planu adaptacji jest przystosowanie miasta do zmieniającego się klimatu, dzięki któremu osiągniemy ograniczenie lub złagodzenie możliwych negatywnych skutków. Dlatego pierwszym krokiem w opracowaniu opcji adaptacyjnych jest *sformułowanie celów i priorytetów planu adaptacji*.

Cel nadrzędny wynika z charakteru planu i jest nim uczynienie miasta bardziej odpornym na zmiany klimatu. Natomiast **cele szczegółowe** wynikają z diagnozy problemów – zidentyfikowanych zagrożeń, obszarów wrażliwych oraz oszacowanego poziomu ryzyka. Do wyznaczenia celów szczegółowych można zastosować analizę mocnych i słabych stron (SWOT) lub macierze problemowe, którymi mogą być w tym przypadku tabele/macierze, wykonane przy szacowaniu ryzyka poszczególnych czynników klimatycznych dla analizowanych sektorów (tab. 4.16). Wśród celów szczegółowych powinno się znaleźć przystosowanie do czynników klimatycznych, czyli zwiększenie odporności miasta na te zagrożenia, dla których oszacowano wysokie ryzyko.

Pierwszym krokiem w tworzeniu wariantowych rozwiązań adaptujących miasto/obszary wrażliwe do zmian klimatycznych jest identyfikacja opcji i stworzenie katalogu rozwiązań. Niestety, ani wytyczne do opracowania MPA, ani dotychczas wykonane MPA nie pozwoliły na utworzenie krajowego katalogu dobrych praktyk. Podręcznik [52] zaleca korzystanie z doświadczeń zagranicznych, w tym między innymi z oficjalnej platformy Komisji Europejskiej **ClimateADAPT** (<http://climate-adapt.eea.europa.eu>), która została stworzona w ramach unijnej polityki adaptacyjnej i ma na celu wsparcie krajów w dostosowywaniu się do zmian klimatu.

Opcje adaptacyjne mają na celu doprowadzenie do akceptowalnego poziomu przewidywania niekorzystnych skutków zdiagnozowanych zagrożeń. Należy zatem dla wyznaczonych celów (np. zwiększenia odporności miasta na skutki nawałnych deszczy, czyli powodzi miejskich) opracować kilka opcji, zawierających różne rozwiązania techniczne oraz działania nietechniczne, które prowadzą do redukcji skutków zagrożeń wynikających ze zmian klimatu. Działania techniczne mogą być wariantowane w zakresie lokalizacji inwestycji, skali/wielkości inwestycji itd. Działania nietechniczne, tzw. miękkie, powinny obejmować między innymi informowanie

i edukację, dzięki którym podnoszona jest świadomość społeczna problemów i możliwość reagowania na zagrożenia, promowanie zmian zachowania, a także szkolenia i budowanie potencjału, reformy instytucjonalne, jak też tworzenie wytycznych (np. standardów i norm budowlanych, dobrych praktyk, zasad postępowania w przygotowywaniu dokumentów polityki miejskiej, uwzględniających wzmocnienie odporności miasta na wpływ zmian klimatu).

Podręcznik [52] zwraca także uwagę na to, aby przy tworzeniu opcji dążyć do wykorzystywania działań opartych na podejściu ekosystemowym. Podejście to polega na tworzeniu i umacnianiu ekosystemów miejskich – zielonej i błękitno-zielonej infrastruktury – mających szczególnie istotną rolę w kompleksowym łagodzeniu skutków zmian klimatu. Zielona infrastruktura (różnej postaci tereny zielone) ma duży wpływ na warunki termiczne w mieście, łagodzi efekt wyspy ciepła, pozwala na zachowanie i podnoszenie bioróżnorodności, łagodzi zaburzenia cyklu hydrologicznego i może, w zależności od rodzaju i wielkości, stwarzać warunki do wypoczynku oraz rekreacji mieszkańców. Natomiast niebiesko-zielona infrastruktura (tereny zielone wzbogacone w „wodne” rozwiązania: zbiorniki, stawy, oczka, mokradła) może stanowić istotne rozwiązanie w zakresie ochrony przed powodzią przez retencjonowanie wody deszczowej. Zielono-niebieska infrastruktura łagodzi również lokalnie skutki suszy przez podniesienie poziomu wód gruntowych.

ANALIZA OPCJI ADAPTACJI

Opracowane wariantowe rozwiązania muszą być następnie poddane ocenie, która pozwoli na wyłonienie najlepszych, preferowanych rozwiązań. Ocena musi brać pod uwagę wiele aspektów. Opcje muszą być ocenione pod względem efektywności, finansowym, wykonalności technicznej, wpływu na środowisko, a także akceptowalności społecznej.

Zalecane są dwie podstawowe metody oceny – analiza kosztów i korzyści oraz analiza jakościowa metodą oceny wielokryterialnej. Sporządzenie analizy kosztów i korzyści w celu określenia efektywności ekonomicznej (opłacalności) jest zalecane dla rozwiązań technicznych. Natomiast z uwagi na fakt, że działania nietechniczne trudno poddać analizie ekonomicznej, jako główną metodę oceny zaleca się analizę wielokryterialną, która pozwoli także na porównanie działań technicznych i nietechnicznych. Analiza kosztów i korzyści działań technicznych jest zatem oceną wspomagającą, która umożliwi selekcję tego typu rozwiązań.

Przykładowe kryteria, które można zastosować do oceny opcji adaptacji, to [52]:

- skuteczność – ocena, czy dane rozwiązanie umożliwia realizację ogólnego celu wskazanego w planie adaptacji do zmian klimatu,
- niezawodność rozwiązania w obecnych warunkach klimatycznych oraz w innych prawdopodobnych zmienionych warunkach klimatycznych w przyszłości,
- elastyczność rozwiązania w obecnych oraz przyszłych prognozowanych warunkach klimatycznych,

- działanie uboczne – ocena, czy rozwiązanie może mieć negatywny wpływ na inne obszary lub słabsze grupy społeczne,
- czas/okres realizacji oraz czas/okres uzyskiwania efektów wdrożenia,
- zrównoważony charakter – ocena, czy dane rozwiązanie spełnia zasady zrównoważonego rozwoju, w tym, czy przyczynia się do oszczędnego gospodarowania zasobami,
- efektywność – ocena, czy dane rozwiązanie jest ekonomicznie opłacalne,
- efekty zewnętrzne – ocena, czy dane rozwiązanie powoduje koszty społeczne i środowiskowe,
- synergia – ocena, czy dane rozwiązanie daje efekty łągodzące dla wielu sektorów i/lub zagrożeń lub czy ogranicza również inne zagrożenia, oprócz zagrożeń klimatycznych.

Tworzone w ten sposób matryce opisujące, charakteryzujące poszczególne opcje adaptacyjne, są następnie podstawą do eksperckiej oceny względnej opcji i wyboru preferowanej opcji adaptacji, przy zastosowaniu metod wielokryterialnych, metody delfickiej lub innych metod z wykorzystaniem ekspertów.

4.3.2. PLAN ADAPTACJI MIASTA KRAKOWA DO ZMIAN KLIMATU DO ROKU 2030

Plan adaptacji Miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030 został opracowany w 2018 r. Zagrożenie powodziowe – zarówno od strony rzek, jak i powódzie opadowe – zostały uznane jako istotny problem, któremu należy przeciwdziałać. W ramach diagnozy zagrożeń uznano, że kluczowymi zagrożeniami klimatycznymi są [51]:

- fale upałów (obserwowany jest istotny trend wzrostu liczby dni w falach upałów),
- długotrwałe okresy bezopadowe w połączeniu z temperaturą maksymalną powyżej 25°C (obserwowany jest istotny trend wzrostu liczby dni w okresach bezopadowych),
- deszcze nawalne (krótkotrwały opad deszczu o dużej wydajności) **powodujące lokalne zalanie lub podtopienie terenu (powódzie miejskie)** (obserwowany jest istotny trend wzrostu),
- **powódzie od strony rzek,**
- fale zimna,
- burze, w tym burze z gradem oraz związane z nimi silne porywy wiatru i deszcze nawalne,
- zanieczyszczenie powietrza i występowanie zjawiska smogu.

Analiza danych meteorologicznych z okresu 1981-2015 oraz scenariuszy klimatycznych w horyzontach czasowych lat 2030 i 2050 pokazała, że Kraków (dodatkowo z racji swego położenia, zabudowy oraz istniejących warunków cyrkulacji powietrza) jest narażony na niekorzystne zmiany w postaci wyższych opadów, większej częstotliwości i wysokości deszczy nawalnych oraz częstszym występowaniem burz, co w efekcie powoduje lokalne powódzie i podtopienia, a co za tym idzie istotne straty materialne oraz utrudnienia w funkcjonowaniu miasta. Problemy regularnie

występują w obszarach następujących dzielnic: Czyżyny, Wola Justowska, Prądnik Czerwony, Grębałów, Bronowice, Bielany, Podgórze, Bieżanów-Prokocim i Prądnik Biały. Ponadto przewiduje się, że w przyszłości – ze względu na zmiany klimatu oraz wzrost udziału terenów nieprzepuszczalnych – zagrożenia podtopieniami mogą wystąpić na terenach: Płaszów-Rybitwy, Dąbie, Stary Bieżanów, Wola Duchacka oraz w rejonie Kombinatu Metalurgicznego [51].

Zagrożenie od strony powodzi rzecznych zostało ocenione na podstawie map zagrożenia, map ryzyka powodziowego oraz ustaleń planów zarządzania ryzykiem powodziowym. Według tych dokumentów dla znaczącej części miasta stwierdzono występowanie szczególnie wysokiego poziomu ryzyka, gdzie konsekwencje powodzi osiągają poziom nieakceptowalny (szczegółowy opis w rozdz. 4.2.3).

Analiza wrażliwości miasta – siedemnastu sektorów – doprowadziła do wyboru czterech sektorów najbardziej wrażliwych na istniejące i prognozowane zmiany klimatu w mieście:

- 1) zdrowie publiczne, w tym grupy wrażliwe: osoby starsze i/lub przewlekle chore, dzieci poniżej 5. roku życia,
- 2) gospodarka wodna,
- 3) transport,
- 4) tereny zabudowy mieszkaniowej o wysokiej intensywności, z uwzględnieniem terenów zieleni.

Wybrane charakterystyki wrażliwości sektorów na zmiany klimatyczne, związane z zagrożeniem powodziowym, przedstawiono w tabeli 4.17.

Tabela 4.17

Opis wpływu zagrożeń klimatycznych na sektory wrażliwe. Źródło: [51]

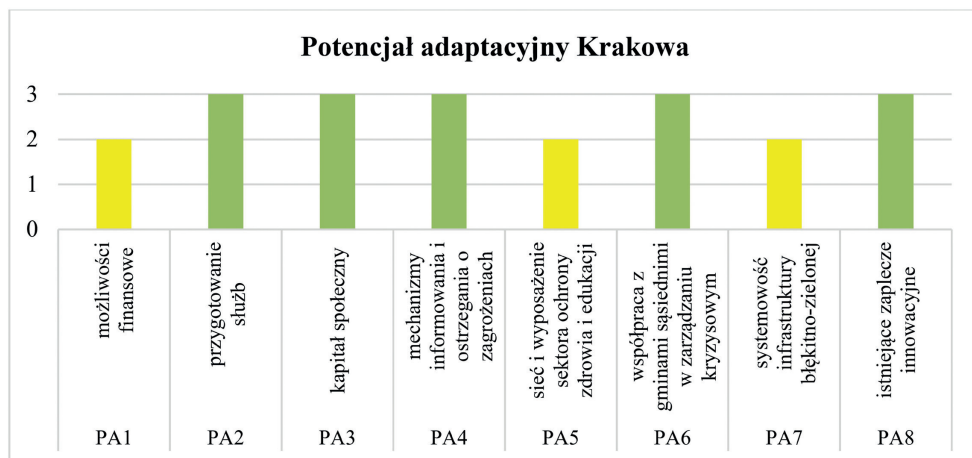
Sektor	Zjawiska klimatyczne i ich pochodne	Charakter oraz skutki oddziaływania na sektory i komponenty
<i>Zdrowie publiczne/ grupy wrażliwe</i>	Deszcze nawalne Powódzie nagłe/ powódzie miejskie	Utrudnione funkcjonowanie w przestrzeni miejskiej Wzrost ryzyka śmierci, zranień, infekcji, chorób skóry, chorób wodozależnych i zatruc pokarmowych oraz znaczne straty materialne Zagrożenie sprawnego funkcjonowania i komunikacji, problemy z dotarciem do chorych przez służby ochrony zdrowia Utrudnienia dla niepełnosprawnych Zagrożenie dla bezdomnych – problem z uzyskaniem informacji o zagrożeniach

Sektor	Zjawiska klimatyczne i ich pochodne	Charakter oraz skutki oddziaływania na sektory i komponenty
<i>Gospodarka wodna</i>	Deszcze nawalne	<p>Zwiększony dopływ zanieczyszczeń do ujęć wody Pogorszenie jakości wody surowej, wzrost kosztów uzdatniania Zwiększony dopływ do oczyszczalni ścieków (znaczny udział wód opadowych i roztopowych z kanalizacji ogólnospławnej) Wzrost kosztów oraz zmniejszenie efektywności oczyszczania ścieków Przeciężenie i niedrożność systemu odwodnienia Lokalne podtopienia</p>
	Powodzie nagłe/ powodzie miejskie Powodzie od strony rzek	<p>Ryzyko zalania obiektów systemu zaopatrzenia w wodę Okresowe wyłączenia obiektów, prowadzące do ograniczenia możliwości zaopatrzenia w wodę Możliwość zalania terenów zagrożonych na obszarze miasta w wyniku awarii obwałowań, spowodowanych ich złym stanem technicznym lub przekroczeniem parametrów technicznych obiektów ochronnych i infrastruktury (np. przelanie obwałowań) Lokalne podtopienia spowodowane zamknięciem klap zwrotnych przepustów wałowych oraz zasuw na kanalizacji ogólnospławnej i deszczowej Pogorszenie jakości wody oraz zanieczyszczenie koryt cieków w związku ze zrzutami z przelewów burzowych oraz splukiwaniem zanieczyszczeń z górnej części zlewni</p>
<i>Transport</i>	Deszcze nawalne Powodzie nagłe/ powodzie miejskie Powodzie od strony rzek	<p>Uszkodzenie infrastruktury transportu – drogowej i kolejowej Podtopienia terenów komunikacyjnych (dróg, torowisk, tuneli, dworców, parkingów, garaży itd.) Dezorganizacja prac transportu przez wyłączenie z ruchu tras komunikacyjnych Opóźnienia w czasie dojazdu</p>
<i>Tereny zabudowy o wysokiej intensywności z uwzględnieniem terenów zieleni</i>	Deszcze nawalne Powodzie nagłe/ powodzie miejskie	<p>Wysoki spływ powierzchniowy Podtapianie i zalewanie terenów Zniszczenie ciągów komunikacyjnych, budynków i mienia</p>

Określono potencjał adaptacyjny (PA) Krakowa – dokonano oceny możliwości miasta w przeciwdziałaniu i łagodzeniu skutków zagrożeń wywoływanych zmianami klimatu. Na potencjał miasta spojrzano szeroko – uwzględniono nie tylko możliwości samorządu i jego jednostek, ale również społeczności lokalnej oraz otoczenia. Wyróżniono następujące kategorie zasobów, które wpływają na potencjał adaptacyjny [51]:

- PA1 – możliwości finansowe (budżet miasta, dostęp do funduszy zewnętrznych, zdolność mobilizacji środków partnerów prywatnych),
- PA2 – przygotowanie służb (przeszkolenie służb mundurowych, inżynieryjnych, medycznych),
- PA3 – kapitał społeczny (funkcjonowanie organizacji społecznych – pozarządowych, partii politycznych, samorządowych, poziom świadomości społecznej grup lokalnych, gotowość do angażowania się w działania dla miasta),
- PA4 – mechanizmy informowania i ostrzegania społeczności miasta o zagrożeniach związanych ze zmianami klimatu,
- PA5 – sieć i wyposażenie instytucji i placówek miejskich w sektorze ochrony zdrowia i edukacji (szpitale, szkoły, przedszkola),
- PA6 – organizacja współpracy z gminami sąsiednimi w zakresie zarządzania kryzysowego (dostęp do sprzętu i kadry ratowniczej),
- PA7 – systemowość ochrony i kształtowania ekosystemów miejskich (infrastruktury błękitno-zielonej),
- PA8 – istniejące zaplecze innowacyjne (instytuty naukowo-badawcze, uczelnie, firmy ekoinnowacyjne).

Potencjał adaptacyjny był oceniany w trzystopniowej skali (3 – wysoki, 2 – średni, 1 – niski). Zasoby zostały określone jako wysokie lub średnie (il. 4.15), co świadczy o dobrym poziomie potencjału adaptacyjnego miasta.



II. 4.15. Potencjał adaptacyjny Krakowa – ocena zasobów. Źródło: [51]

Oszacowano ryzyko zmian klimatycznych jako wypadkową prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń powodowanych poszczególnymi czynnikami klimatycznymi oraz skutków, jakie te zagrożenia niosą. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.18.

Tabela 4.18

Oszacowanie ryzyka zmian klimatycznych dla wrażliwych sektorów. Źródło: [51]

Sektor/obszar	Komponent	Zjawiska klimatyczne i ich pochodne										
		Termika					Opady			Powietrze		
		Temperatura max.	Fale upałów	Fale zimna	Temperatura przejściowa	Liczba dni z $T_{sr} - 5-2,5^{\circ}\text{C}$ i opadem	Miejska wyspa ciepła	Deszcze nawalne	Powodzie od strony rzek	Powodzie nagłe/miejskie	Zanieczyszczenie powietrza	Smog zimowy
Zdrowie publiczne/grupy wrażliwe	Populacja miasta											
	Osoby powyżej 65. roku życia											
	Dzieci poniżej 5. roku życia											
	Osoby przewlekle chore											
	Osoby niepełnosprawne z ograniczoną mobilnością											
	Osoby bezdomne											
	Infrastruktura ochrony zdrowia											
	Infrastruktura opieki społecznej											
Transport	Podsystem szynowy											
	Podsystem drogowy											
	Podsystem lotniczy											
	Podsystem wodny śródlądowy											
	Podsystem – transport publiczny											
Gospodarka wodna	Podsystem zaopatrzenia w wodę											
	Podsystem gospodarki ściekowej											
	Infrastruktura przeciwpowodziowa											

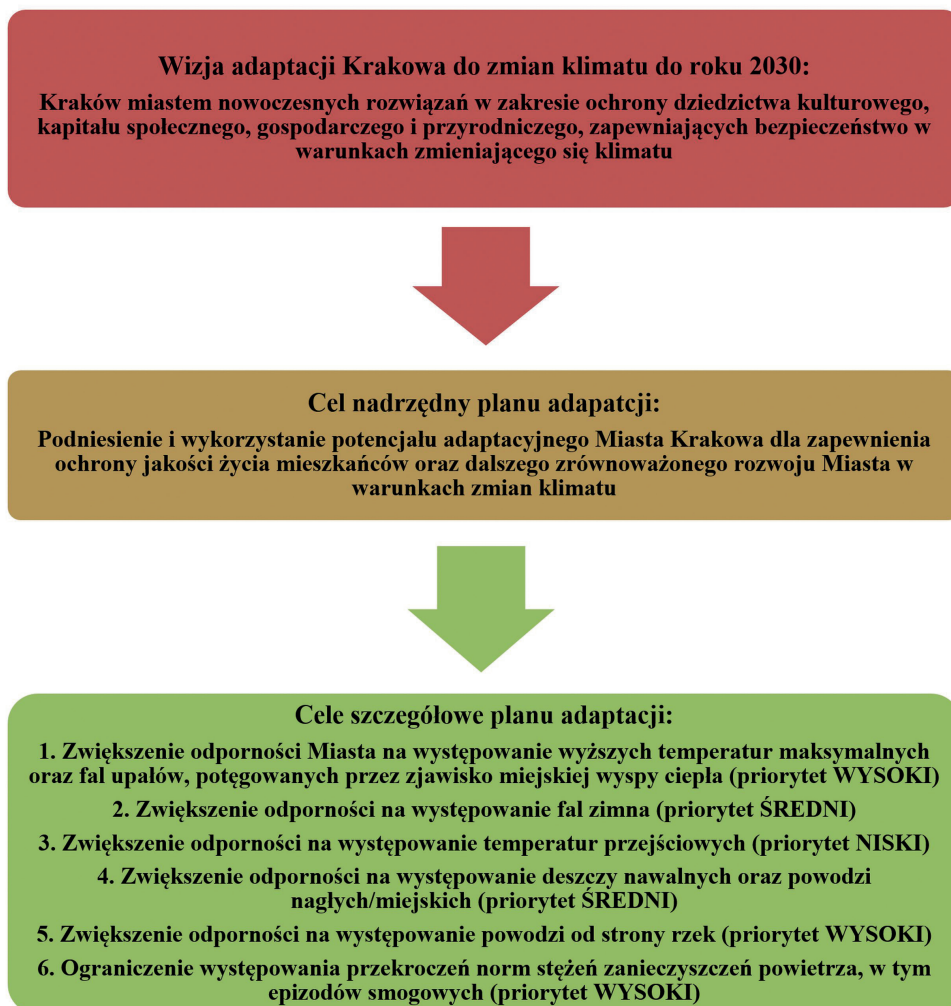
Sektor/obszar	Komponent	Zjawiska klimatyczne i ich pochodne									
		Termika					Opady			Powietrze	
		Temperatura max.	Fale upałów	Fale zimna	Temperatura przejściowa	Liczba dni z $T_{sr} - 5 - 2,5^{\circ}C$ i opadem	Miejska wyspa ciepła	Deszcze nawalne	Powodzie od strony rzek	Powodzie nagłe/miejskie	Zanieczyszczenie powietrza
Tereny zabudowy	Zwarta zabudowa historyczna (Stare Miasto)										
	Zwarta zabudowa śródmiejska (kwartałowa)										
	Osiedla mieszkaniowe – współczesna zabudowa blokowa										
skala oceny ryzyka:			- niskie								
			- średnie								
			- wysokie								
			- bardzo wysokie								

Dla wielu sektorów ryzyko jest średnie, wysokie lub bardzo wysokie. Plan adaptacji Krakowa ma zatem przynieść obniżenie ryzyka, czyli obniżenie skali zagrożeń lub złagodzenie ich negatywnych skutków. Podstawą do określenia działań w MPA było określenie wizji adaptacji miasta oraz celów planu adaptacji, nadrzędnych i szczegółowych, którym przyznano priorytety (wysoki, średni i niski) w zależności od poziomu zidentyfikowanego ryzyka.

Osiągnięcie celów wymaga podjęcia wielu działań, które przystosują miasto do zmian klimatu przez redukcję podatności zidentyfikowanych wrażliwych sektorów: zdrowia publicznego/grup wrażliwych, gospodarki wodnej, transportu oraz terenów zabudowy.

Cele mogą być osiągnięte przez systemowe rozwiązywanie problemów – zastosowanie działań nietechnicznych (organizacyjnych, edukacyjnych i informacyjno-ostrzegawczych) oraz działań technicznych [51]:

- **działania organizacyjne** dotyczą zmian w funkcjonowaniu miasta, w prawie miejscowym w zakresie na przykład planowania przestrzennego, organizacji przestrzeni publicznej, tworzenia wytycznych postępowania w sytuacjach wystąpienia zagrożeń klimatycznych, usprawnienia funkcjonowania służb miejskich bądź systemów ostrzegania przed zagrożeniami,
- **działania informacyjno-edukacyjne** są to działania wspierające, podnoszące społeczną świadomość klimatyczną i propagujące dobre praktyki adaptacyjne;



Il. 4.16. Wizja i cele adaptacji Krakowa do zmian klimatu. Źródło: [51]

pozwalają wzmocnić odporność miasta i jego mieszkańców przez odpowiednie programy edukacyjne i zintensyfikowane działania informacyjne,

- **działania techniczne** są to działania o charakterze inwestycyjnym, obejmujące budowę nowej lub modernizację istniejącej infrastruktury, która przyczynia się do ochrony miasta przed negatywnymi skutkami zmian klimatu.

Wybór działań adaptacyjnych został dokonany z wykorzystaniem analizy kosztów i korzyści oraz analiz wielokryterialnych, dzięki którym uwzględniono takie kryteria i cechy działań jak: kryteria zrównoważonego rozwoju czy synergiczne oddziaływanie działań w jednoczesnym ograniczaniu wielu zagrożeń.

W zakresie ograniczania ryzyka ze strony deszczy nawalnych, powodzi miejskich i powodzi rzecznych zaplanowano następujące działania techniczne i nietechniczne:

- ograniczanie negatywnego oddziaływania powodzi od strony rzek:
- ukończenie modernizacji wałów przeciwpowodziowych Wisły i jej dopływów na terenie miasta,
- zwiększenie retencji zbiornikowej i polderowej w zlewni Wisły powyżej Krakowa,
- budowa suchych zbiorników przeciwpowodziowych na dopływach Wisły,
- ograniczanie negatywnego oddziaływania intensywnych opadów:
- zwiększanie powierzchni terenów zielonych (zalesienia, stosowanie zielonych dachów i elewacji oraz innych rozwiązań z zakresu błękitno-zielonej infrastruktury),
- zwiększanie naturalnej retencji (rozszczerzenie terenów utwardzonych, stosowanie nawierzchni przepuszczalnych, ograniczanie i opóźnianie odpływu ze zlewni),
- wprowadzanie odpowiednich wytycznych planistycznych (np. w ramach MPZP),
- łagodzenie skutków negatywnego oddziaływania powodzi od strony rzek:
- monitoring i utrzymanie dobrego stanu technicznego budowli hydrotechnicznych,
- uwzględnienie problematyki ochrony przeciwpowodziowej w decyzjach o warunkach zabudowy i ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego na obszarach zagrożonych powodzią przez zapisy i ustalenia zmierzające do zmniejszenia negatywnych skutków powodzi,
- rozwiązywanie problemów instytucjonalnych w zarządzaniu ochroną przeciwpowodziową (m.in. ustalenie właścicieli obwałowań o nieustalonym stanie prawnym, przekazanie ich w zarząd PGW Wody Polskie),
- ograniczenie zabudowy na terenach zalewowych,
- łagodzenie skutków negatywnego oddziaływania intensywnych opadów:
- zabezpieczenia techniczne (rozbudowa i modernizacja systemu odwodnienia miasta),
- zwiększenie sztucznej retencji (budowa zbiorników mikro- i małej retencji),
- monitoring i utrzymanie istniejącej infrastruktury przeciwpowodziowej, melioracyjnej i odwodnieniowej na terenie miasta,
- inwentaryzacja i opracowanie modeli: opad – odpływ i hydraulicznego,
- niwelowanie konsekwencji powodzi od strony rzek i intensywnych opadów:
- rozwój systemów prognozowania, ostrzegania i zarządzania przepływem wód,
- wzmocnienie służb technicznych i ratowniczych przez rozwój, doposażenie, organizację zarządzania kryzysowego, szkolenia itp.,
- działania informacyjne, edukacyjne, badawcze (uzupełnianie luk wiedzy):
- udostępnianie informacji o dobrych praktykach, działaniach i postawach w zakresie ograniczania ryzyka podtopieniami i powodziami oraz o potencjalnych stratach,
- udostępnianie informacji o zagrożeniach i sposobach postępowania w okresie występowania wezbrań i powodzi rzecznych oraz podtopień i powodzi miejskich,
- promocja działań na rzecz zwiększania retencji (naturalnej i sztucznej).

Wszystkie działania zaplanowane w perspektywie do 2030 r. wyceniono na kwotę ok. 8 mld zł. Ich realizacja leży zarówno po stronie miasta, jednostek miejskich (m.in. MPWIK S.A., Zarząd Zieleni Miejskiej), jak i Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie, powiatu krakowskiego, sejmiku województwa oraz organizacji pozarządowych, uczelni i jednostek naukowych. Zakłada się współfinansowanie działań z funduszy Unii Europejskiej, środków współpracy Unii z innymi krajami, a także środków krajowych i regionalnych. Polityka klimatyczna Unii Europejskiej przewiduje szerokie finansowanie tego typu działań. W nowej perspektywie budżetu unijnego na lata 2021-2027 wskaźnik wydatków klimatycznych ma stanowić 25% budżetu, co daje duże możliwości pozyskania finansowania na projekty z krakowskiego MPA.

Tabela 4.19

Zestawienie kategorii działań w MPA dla Krakowa wraz z wyceną kosztów ich realizacji. Źródło: [51]

Działania przewidziane w MPA dla Krakowa	Koszty [tys. zł]
Rozwój terenów zielonych	866 352
Zwiększanie naturalnej i sztucznej retencji, rozwój małych form błękitno-zielonej infrastruktury	45 995
Rozwój infrastruktury przeciwpowodziowej, odwodnieniowej, systemu prognozowania podtopień oraz powodzi	574 547
Rozwój i modernizacja infrastruktury wodociągowej, zwiększanie dostępności do wody do celów rekreacyjnych	224 821
Działania edukacyjne, profilaktyka zdrowotna	1 332
Wzmocnienie służb ratowniczych oraz usług socjalnych	69 500
Opracowania, analizy oraz ochrona terenów przed zabudową przez wykup i działania planistyczne	394 000
Rozwój infrastruktury transportowej	5 137 393
Zmniejszenie zapotrzebowania i zużycia energii cieplnej w obiektach budowlanych	384 067
Ograniczanie niskiej emisji	363 493
OGÓŁEM	8 061 500

4.4. POWIĄZANIE ZARZĄDZANIA RYZYKIEM POWODZIOWYM Z GOSPODARKĄ PRZESTRZENNĄ

Mamy tu do czynienia z działaniem dwukierunkowym, wynikającym z delegacji dwóch ustaw: **ustawy Prawo wodne** (Dz.U. 2017, poz. 1566 wraz z późn. zm.) oraz

ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2003, Nr 80, poz. 717 wraz z późn. zm.), w zakresie respektowania uwarunkowań wpływających na stan i wzrost zagrożenia powodziowego w warunkach rozwoju.

Ustalenia o zagrożeniu powodziowym są respektowane w planowaniu przestrzennym, a plany zarządzania ryzykiem powodziowym „konsumują” stan i rozwój przestrzenny. Jak to powiązanie ryzyka powodziowego z gospodarką przestrzenną jest realizowane praktycznie, prześledzimy z punktu widzenia każdej z tych delegacji.

Należy jednak zwrócić uwagę, że dokumenty planistyczne i ich powiązania muszą respektować również uregulowania prawne definiujące zasady rozwoju oraz obowiązki samorządu wojewódzkiego i gminnego, które obecnie zawarte są w następujących dokumentach:

- Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju – do roku 2020, z perspektywą do 2030 r. (Uchwała Rady Ministrów z dnia 14 lutego 2017 r.),
- Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2030: Rozwój społecznie wrażliwy i terytorialnie zrównoważony (Uchwała Rady Ministrów z dnia 17 września 2019 r.),
- ustawa z dnia 6 grudnia 2006 r. o zasadach prowadzenia polityki rozwoju (nowelizacja z lipca 2020 r. wprowadziła nowy instrument – koncepcję rozwoju kraju – w miejsce długookresowej strategii rozwoju kraju i koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju; jednakże pierwszy projekt koncepcji rozwoju kraju jeszcze nie został utworzony),
- ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska,
- a także ustawy o samorządzie wojewódzkim i gminnym.

Jak widać, dokumenty te powstawały w różnych okresach. Należy też zaznaczyć, że obecnie obowiązujące Prawo wodne (od 2018 r.) zastąpiło poprzednie (z 2001 r. wraz z późn. zm.), w którym zawarte były restrykcje kierowane do planowania przestrzennego. Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, ponieważ dokumenty planistyczne, a tym samym również zakres ich powiązań, muszą być sukcesywnie dostosowywane do obowiązujących wymagań przez ich aktualizację.

W tej sytuacji skupiliśmy się wyłącznie na obowiązujących obecnie dokumentach planowania przestrzennego i z zakresu zagrożenia i ryzyka powodziowego, które zaprezentowano w rozdziałach 3 oraz 4.2 niniejszego podręcznika.

Analizę rozpoczęto od planowania przestrzennego, tak aby realną sytuację planistyczną odnieść następnie do zaleceń zawartych w dokumentach „wodnych”. Pozwala to na ocenę rzeczywistego powiązania tych dokumentacji.

4.4.1. UWARUNKOWANIA WYNIKAJĄCE Z ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM

Planowanie przestrzenne, uwzględniające uwarunkowanie i/lub zalecenia dotyczące ograniczenia zagrożenia powodziowego, obejmuje dokumenty na trzech poziomach: krajowym, regionalnym oraz lokalnym.

Poziom krajowy

Obejmuje **planowanie strategiczne – kierunkowe, którego efektem jest Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030** (zwana w skrócie **KPZK 2030**). Jest to dokument ogłoszony w Monitorze Polskim (MP) z dnia 27 kwietnia 2012 r. (poz. 252) na podstawie Uchwały Rady Ministrów nr 239 z dnia 13 grudnia 2011 r. w sprawie przyjęcia Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030. Dopuszcza on korekty w czasie.

Dokument ten definiuje pięć celów przestrzennego zagospodarowania kraju, z których piąty został określony jako: „**Zwiększenie odporności struktury przestrzennej kraju na zagrożenia naturalne** i utratę bezpieczeństwa energetycznego oraz kształtowanie struktur przestrzennych wspierających zdolności obronne państwa”.

W ramach tego celu, analizując odporność naszego kraju na zagrożenia naturalne, w wyniku analizy zagrożeń powodzią i suszą w okresie 1945-2005 zdefiniowano źródła i rodzaje tych zagrożeń oraz ich zasięg przestrzenny. W efekcie sporządzono dokumentację kartograficzną na dwóch poziomach: a) bazowym, na podstawie opracowań eksperckich, dotyczącym lokalizacji zagrożeń, b) docelowo formułującym kierunki działań w celu ograniczenia źródeł i skutków tych zagrożeń.

Główny nacisk położono na zagrożenia powodziowe i ich skutki, postulując zintegrowane działania na bazie realizacji wielkoobszarowych programów ochrony przed powodzią (zob. il. 4.17). W tym miejscu należy pamiętać o dwóch kwestiach:

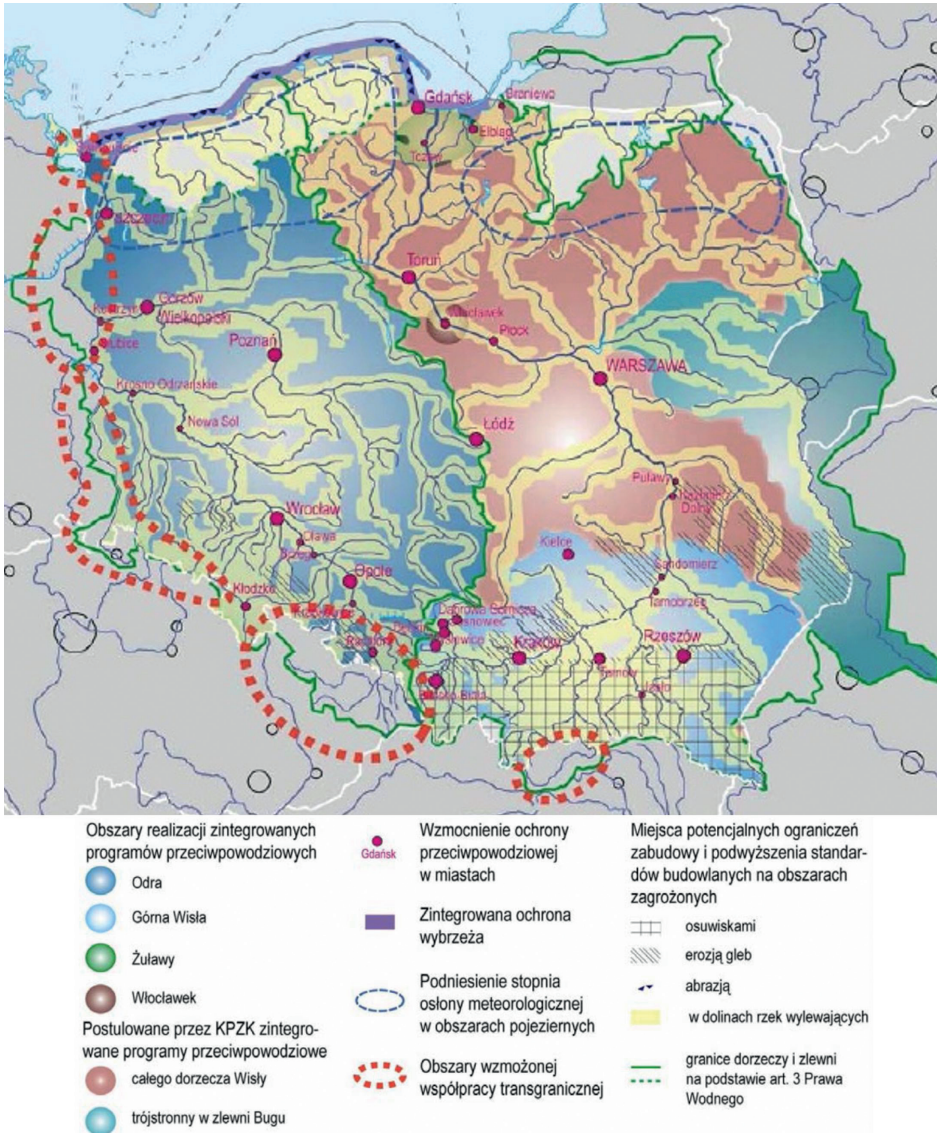
- kres przygotowywania KPZK 2030 przypadł na pierwszą dekadę XXI w., kiedy opracowywano dopiero Dyrektywę Powodziową, regulującą te kwestie rodzajowo (ryzyko powodziowe rozumiane szerzej) i formalnie (plany zarządzania ryzykiem powodziowym – PZRP),
- każde efektywne planowanie rozwiązań (w tym także w ramach PZRP) jest poprzedzone wieloetapowym programowaniem, odwołującym się do diagnozy obejmującej również historię rozwoju infrastruktury wraz z oceną jej skuteczności w celu wskazania priorytetowych obszarów interwencji w układzie wieloskalowym, z określeniem zakresu efektywnych i skutecznych rozwiązań na bazie istniejących uwarunkowań.

W tej sytuacji, przedstawione w Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030 (il. 4.17), zintegrowane programy ochrony przed powodzią w dorzeczu Odry, górnej Wisły oraz Żuław i wskazanie dalszych są w pełni uzasadnione. Co więcej, programy te były bazą informacyjną oraz dokumentacyjną dla prac nad wdrożeniem Dyrektywy Powodziowej.

KPZK 2030 jest dokumentem przeglądowym, na podstawie którego powinno się integrować działania tak, aby umożliwić spełnienie wszystkich pięciu postawionych celów rozwojowych. To trudne, ale możliwe przez kartograficzne zdefiniowanie obszarów problemowych. Zostały one zaprezentowane w postaci syntetycznych map tematycznych, łączonych w pakiety zagadnień. W przypadku zagrożenia powodziowego ten pakiet tematyczny obejmuje trzy złożone struktury mapowe:

Mapa 15 dotyczy gospodarki wodnej w zakresie głównej infrastruktury wodnej, obejmującej wodne zbiorniki retencyjne i śródlądowe drogi wodne, oraz infrastruktury dotyczącej gospodarki wodno-ściekowej (wodociągi i oczyszczalnie ścieków).

Mapa 21 dotyczy zagrożeń i utrudnień naturalnych, klimatycznych, hydrologicznych, glebowych i geomorfologicznych, geologicznych i hydrogeologicznych, wraz z syntezą definiującą obszary o niekorzystnych dla budownictwa warunkach terenowych.



II. 4.17. Zintegrowane działania przeciwpowodziowe. Źródło: KPZK 2030

Mapa 22 dotyczy ochrony przed powodzią i definiuje przestrzennie intensywność zagrożenia powodziowego oraz infrastrukturę przeciwpowodziową.

KPZK 2030 odnosi się też do działań informacyjnych oraz organizacyjno-prawnych, wspierających ograniczenie istniejącego zagrożenia i jego wzrostu w przyszłości, takich jak ograniczenia w wykorzystaniu i zabudowie terenów zagrożonych, w tym osuwiskowych, oraz rozwój systemu prognoz i ostrzeżeń. Zawiera również wskazania dotyczące zwiększenia dyspozycyjnych zasobów Polski, co oznacza ukierunkowanie na rozwój retencji wodnej przeciwdziałającej powodziom i skutkom suszy.

Poziom regionalny

Obejmuje **wojewódzkie plany zagospodarowania przestrzennego**, które pełnią rolę koordynującą w planowaniu lokalnym. Ich opracowywanie jako dokumentów strategicznych rozpoczęto w 2003 r. Raporty o stanie zagospodarowania przestrzennego, realizowane w następnych latach, stały się podstawą weryfikacji pierwotnych planów.

Aby zobrazować uwarunkowania wynikające z zagrożenia powodziowego, posłużymy się przykładem **Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Małopolskiego**, który sporządzony został na podstawie Uchwały Nr XLVII/732/18 Sejmiku Województwa Małopolskiego z dnia 26 marca 2018 r. i zastępuje dotychczas obowiązujący Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Małopolskiego, przyjęty Uchwałą Nr XV/174/03 Sejmiku Województwa Małopolskiego z dnia 22 grudnia 2003 r.

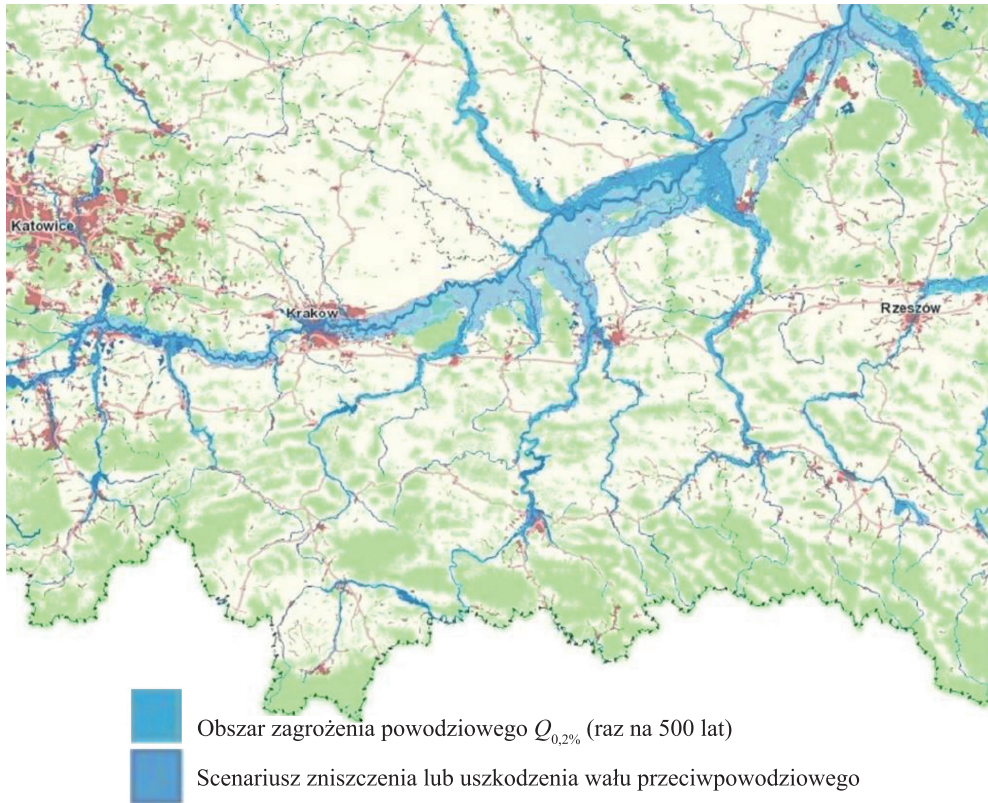
Obowiązujący dotychczas Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Małopolskiego wymagał dostosowania do aktualnych uwarunkowań społeczno-gospodarczych i przestrzennych, nowych uwarunkowań formalno-prawnych oraz zmian w rozmieszczeniu inwestycji celu publicznego, na co wskazały opracowania eksperckie, między innymi:

- Raport o stanie zagospodarowania przestrzennego województwa małopolskiego 2010,
- Polityka miejska województwa małopolskiego (2013),
- Raport o stanie zagospodarowania przestrzennego województwa małopolskiego 2014.

W rezultacie, obecne powiązanie zweryfikowanego Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Małopolskiego (z 2018 r.) z uwarunkowaniami w zakresie zagrożenia i ryzyka powodziowego odnajdujemy w następujących obszarach tematycznych:

- 1) Uwarunkowania wewnętrzne (tom 1) w ramach **Gospodarki środowiskiem i ochrony przyrody**, w zakresie **Stanu i zagrożenia środowiska**,
- 2) Kierunki działań przestrzennych (tom 2) w ramach **Obronności i ryzyka związanego z wystąpieniem sytuacji kryzysowych**, a także w ramach **Działań na obszarach funkcjonalnych wyodrębnionych w ramach KPZK**.

Pierwszy tom zawiera informacje dotyczące stanu infrastruktury przeciwpowodziowej, która nie spełnia wymaganych oczekiwań, a także mapę obszaru zagrożenia



II. 4.18. Wyciąg z ogólnopolskiej mapy zagrożenia powodziowego. Na podstawie <http://mapy.isok.gov.pl> (dostęp: 15.06.2020)

powodziowego (il. 4.18). Zamyka go cytat z PZRP z 2016 r. (Dz.U. 2016, poz. 1841), stwierdzający, że: „Szczególną rolę dla regionalnej i lokalnej polityki przestrzennej posiadają dokumenty dające podstawę do identyfikacji obszarów szczególnego zagrożenia powodziowego. **W obszarach tych obowiązują zakazy, nakazy i ograniczenia, wynikające z przepisów odrębnych dotyczących ochrony przed powodzią. Dla obszaru Województwa Małopolskiego podstawą prawną określenia terenów zagrożonych powodzią są:**

- 1) Mapy zagrożenia powodziowego (MZP) sporządzone przez Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, udostępnione na stronach internetowych ISOK: <http://mapy.isok.gov.pl/imap/>.
- 2) Dla rzek oraz odcinków rzek, dla których jeszcze nie zostały sporządzone mapy zagrożenia powodziowego, do czasu ich sporządzenia, formalną podstawą identyfikowania granic obszarów szczególnego zagrożenia powodzią są sporządzone przez Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie opracowania:

- «Studium określające granice obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią dla terenów nieobwałowanych w zlewni Soły» stanowiące I etap studium ochrony przeciwpowodziowej;
- «Studium określające granice obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią dla terenów nieobwałowanych w zlewni Skawy» stanowiące I etap studium ochrony przeciwpowodziowej;
- «Studium określające granice obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią dla terenów nieobwałowanych w zlewni górnego Dunajca do ujścia Popradu» stanowiące I etap studium ochrony przeciwpowodziowej;
- «Studium określające granice obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią dla terenów nieobwałowanych w zlewni dolnego Dunajca od ujścia Popradu» stanowiące I etap studium ochrony przeciwpowodziowej;
- «Wyznaczenie obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią w zlewni Raby, jako integralny element studium ochrony przeciwpowodziowej» stanowiące I etap studium ochrony przeciwpowodziowej;
- «Studium określające granice obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią dla terenów nieobwałowanych w zlewni Wisłoki» stanowiące I etap studium ochrony przeciwpowodziowej w części dot. województwa małopolskiego.

Dodatkowym materiałem wykorzystanym m.in. przy opracowaniu Planu Zarządzania Ryzykiem Powodziowym są Analizy Programów Inwestycyjnych (API), opracowane przez Małopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych (dla Rudawy, Siedzinki, Wilgi, Serafy, Podłęzanki, Potoku Kościelnickiego, Dłubni, Prądnika, Nidzicy, Uszwicy, Żabnicy, Breń, Skawinki, Szreniawy, Serafy, Potoku Królewskiego, Drwiniki) oraz przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie (dla Soły, Skawy, Raby, Dunajca, Wisłoki).

Opracowania te nie mają jednak rangi map zagrożenia powodziowego. Nie stanowią także studium ochrony przeciwpowodziowej”.

Jak widać, przywołano wiele dokumentów, wykonanych w różnych latach (2011-2015), dla zlewni rzek – dopływów Wisły w województwie małopolskim, które to opracowania przygotowywały plany inwestycyjne dla ochrony przed powodzią. Część z nich nie została zweryfikowana oficjalnie. Mamy zatem do czynienia z dokumentami o różnej wadze, oficjalnymi i innymi, które mogą być wykorzystywane, ale z odwołaniem się do okresu i danych hydrologicznych, na bazie których były wykonywane. Ta uwaga dotyczy także, nieprzywołanego w powyższym wykazie, opracowania Koncepcja ochrony przed powodzią Wisły i jej dopływów w rejonie Sandomierza i Tarnobrzega z 2009 r. [32], które zostało „zgubione” przez autorów PZRP, a jest niezmiernie ważnym dokumentem strategicznym, który wyznaczył prowadzone od wielu lat działania przeciwpowodziowe w węźle tarnowsko-sandomierskim. Powinien on zostać zauważony i uwzględniony w PZRP już w I cyklu planistycznym.

W drugim przypadku, w odniesieniu do Obronności i ryzyka związanego z wystąpieniem sytuacji kryzysowych, w zakresie ochrony przed powodzią przytoczono

zamieszczone wyżej wskazania, zawarte w tomie 1, poszerzając je w kierunku inwestycji przeciwpowodziowych.

W odniesieniu do Działań na obszarach funkcjonalnych wyodrębnionych w ramach KPZK, w ramach narzędzi realizacji działań wymieniono infrastrukturę przeciwpowodziową zawartą w PZRP. Z kolei w ramach wniosków do przyszłych dokumentów programowych stwierdzono, że:

- „Plan zagospodarowania przestrzennego województwa w ograniczonym stopniu może oddziaływać na lokalne akty planowania przestrzennego. Są nimi studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin, miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego,
- Nowe podejście do zagospodarowania przestrzennego opiera się na przekonaniu, że głównym celem nie jest kontynuowanie urbanizacji (czyli dalszego zajmowania terenów otwartych), ale wręcz przeciwnie, to tereny otwarte – ich zachowanie i ukształtowanie – staje się dziś priorytetem”.

Jednak w rozwinięciu tej ostatniej koncepcji wskazano wszystkie elementy, w tym środowiskowe, nie odnosząc się jednak w żadnym stopniu do zagrożeń naturalnych, w tym najpoważniejszych – powodziowych.

To pokazuje, że również na tym poziomie mamy do czynienia z „przywołaniem” zagrożenia, a nie wskazaniem podejścia do jego respektowania lub, co ważniejsze, odniesieniem się do rozwoju uwzględniającego ograniczenie istniejącego zagrożenia oraz jego wzrostu w przyszłości. Nadal funkcjonuje myślenie, że to środki ochrony przed powodzią powinny nas zabezpieczać!

Poziom lokalny

Obejmuje dwa podstawowe rodzaje dokumentów planistycznych: 1) studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, zwane dalej w skrócie **studium**, 2) miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego, zwane dalej w skrócie **planem miejscowym**.

Odwołania do obszarów zagrożenia powodziowego i wskazań planistycznych z nimi związanych prześledźmy na dokumentach krakowskich, czyli:

- 1) Zmianie Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Krakowa z dnia 14 lipca 2014 r. (Uchwała RMK nr CXII/1700/14), wprowadzonego w miejsce studium z 2003 r. (Uchwała RMK nr XII/87/03),
- 2) przykładach miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, czyli aktualnie obowiązujących planach miejscowych dla Krzesławic i Doliny Dłubni-Krzesławice. Studium składa się z trzech części:

Tom 1 – wprowadzenie: obejmuje cele studium, uwarunkowania i kierunki rozwoju Krakowa,

Tom 2 – zasady i kierunki polityki przestrzennej: obejmuje wizję rozwoju przestrzennego (metropolitalnego), kierunki zmian, ochronę i kształtowanie dziedzictwa kulturowego oraz środowiska, a także realizację polityki przestrzennej,

Tom 3 – wytyczne do planów miejscowych: obejmuje wskazania dotyczące użytkowania terenu i zabudowy w podziale na 63 strukturalne jednostki urbanistyczne miasta Krakowa.

Gdzie i jak uwzględniono zagrożenie powodziowe

W tomie 1, w ramach uwarunkowań dotyczących zagrożeń naturalnych, wspomniano o zagrożeniach powodziowych na wysokie wody $Q_{1\%}$ i $Q_{0,1\%}$, których strefy zasięgu przedstawione zostały w studium wykonalności dotyczącym realizacji Kanału Krakowskiego, ponieważ w czasie przygotowywania tego dokumentu nie dysponowano jeszcze mapami ISOK!

Tom 2, w ramach ochrony i kształtowania środowiska, w zakresie zagrożeń powodziowych potwierdza powyższy zapis na mocy zawartego tam tekstu: „**Obszary szczególnego zagrożenia powodzią zdefiniowane są w ustawie Prawo wodne** (to przywołanie Prawa wodnego z 2001 r. – przyp. aut.). **Ich kompleksowe wskazanie nastąpi w ramach opracowania map zagrożenia powodziowego.** W ramach określonej definicji można obecnie wskazać obszary między linią brzegu a wałem przeciwpowodziowym lub naturalnym wysokim brzegiem. Rzeka Wisła i Rudawa na całym przebiegu przez Miasto jest zasadniczo obwałowana. Pozostałe dopływy Wisły są częściowo obwałowane, szczególnie u ujścia do rzeki. Występowanie tych obszarów zostało przedstawione na planszy Studium. Wskazywanie pozostałych obszarów szczególnego zagrożenia powodzią następować będzie podczas opracowywania planów miejscowych. Zasady zagospodarowania i zainwestowania ich regulują przepisy odrębne”.

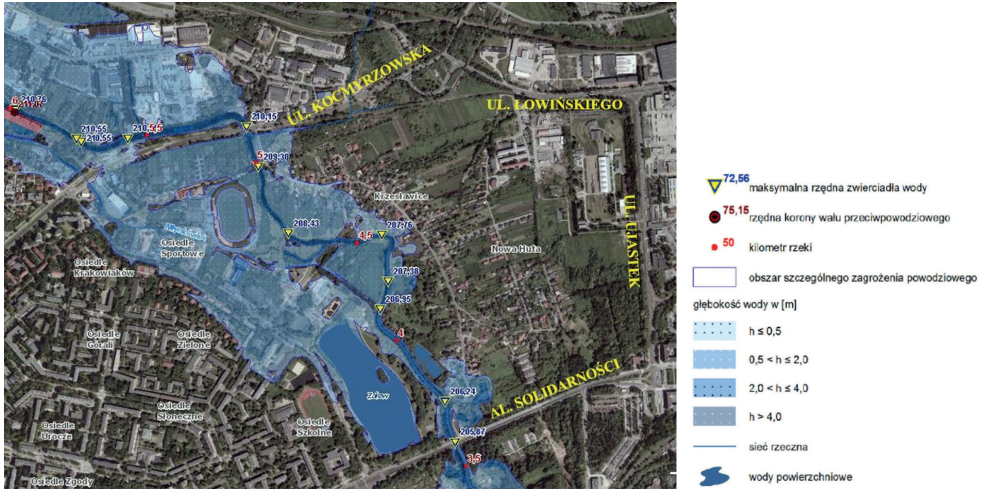
W tej sytuacji tom 3 zawiera szczegółowe wytyczne użytkowania terenu i zabudowy dla każdej z 63 strukturalnych jednostek urbanistycznych jedynie w zakresie udziału powierzchni czynnej w odniesieniu do warunków środowiskowych. **Ma to niewątpliwie wpływ na ograniczenie zagrożenia bezpośrednio od wód opadowych, ale nie dotyczy ograniczenia zagrożenia powodziowego od strony rzek.**

Dlatego też, w przypadku **planów miejscowych**, które kierują się tymi wytycznymi, brak jest na ogół formalnego odniesienia do potencjalnego zagrożenia powodziowego. Plany te w większości powstawały w latach 2005-2015.

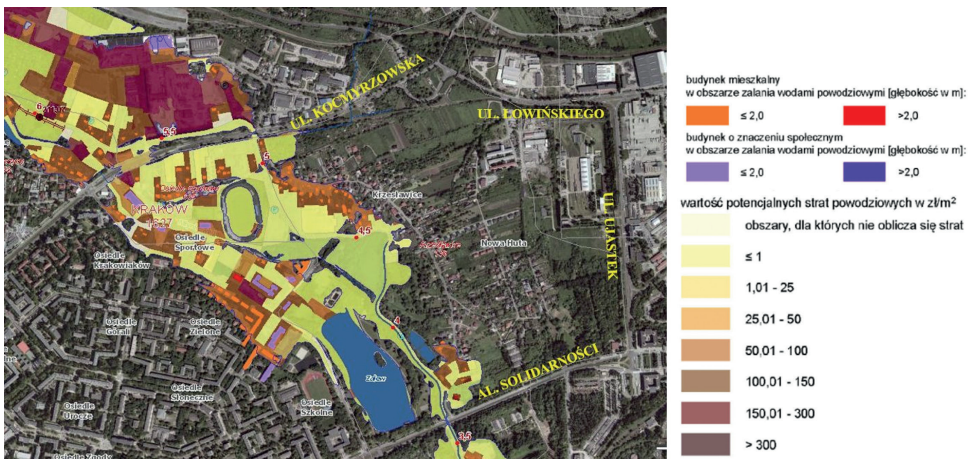
Pokazano to na przykładzie zlewni Dłubni, dla której zostały opracowane strefy szczególnego zagrożenia powodziowego na terenie nieobwałowanym dla wody stuletniej $Q_{1\%}$ (dostęp na oficjalnym portalu <http://mapy.isok.gov.pl>).

Obszar ten wybrano, ponieważ dolina Wisły i jej dopływy w zasięgu cofki Wisły są zabezpieczone bulwarami wysokimi i wałami przeciwpowodziowymi, a co za tym idzie, strefy zagrożenia poza wałami nie spełniają warunków szczególnego zagrożenia powodziowego.

Na ilustracji 4.19 przedstawiono aktualnie obowiązującą strefę szczególnego zagrożenia powodzią stuletnią w obrębie lewostronnej doliny rzeki Dłubni, objętej planem miejscowym „Krzyszlawice”. Na ilustracji 4.20 pokazano odpowiadające jej ryzyko powodziowe w zakresie zagrożenia ludności i mienia.



II. 4.19. Zasięg i głębokości zalewu $Q_{1\%}$ w rejonie Dłubni powyżej al. Solidarności, na lewym brzegu rzeki objętym planem miejscowym z 2005 r. Źródło: <https://wody.isok.gov.pl> (dostęp: 15.06.2020)

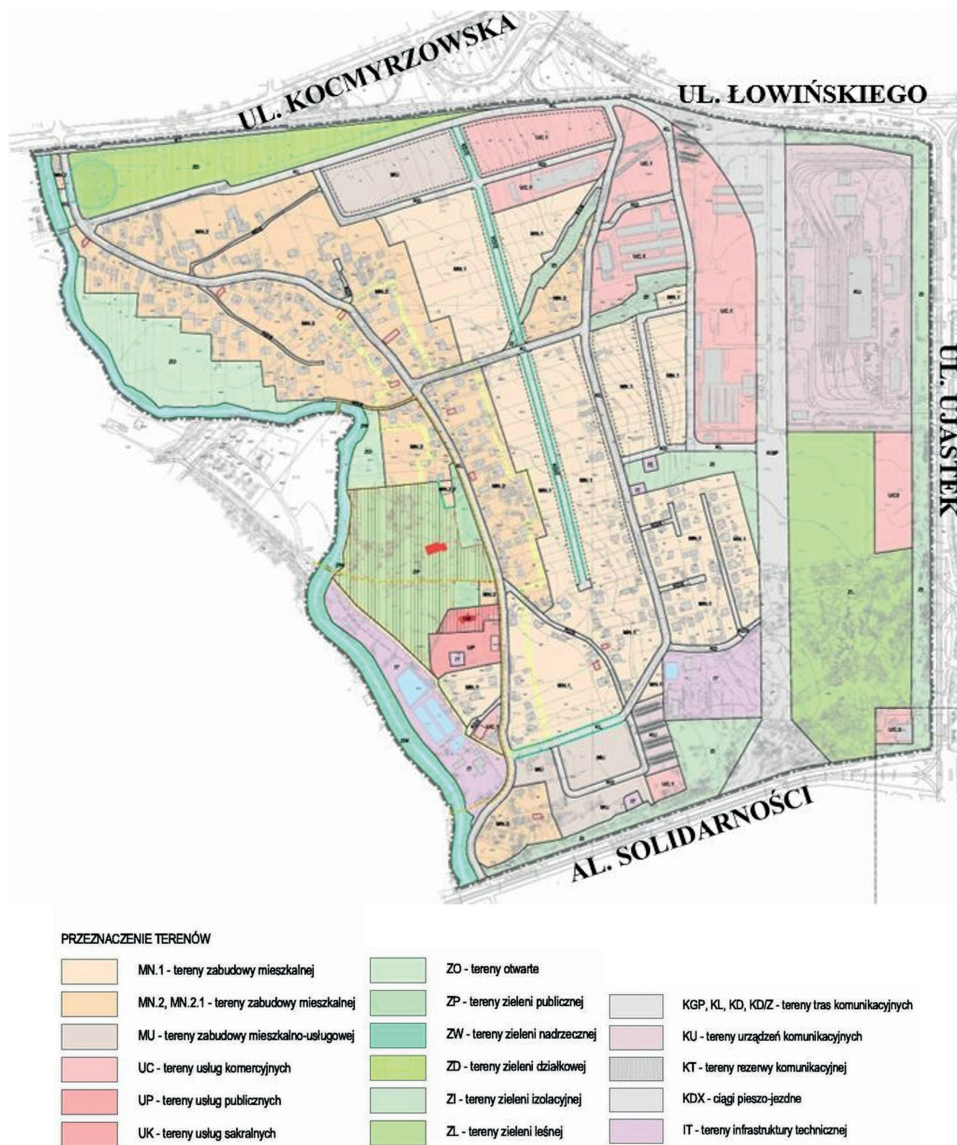


II. 4.20. Ryzyko powodziowe w strefie zalewu $Q_{1\%}$ w rejonie Dłubni powyżej al. Solidarności, na lewym brzegu rzeki objętym planem miejscowym z 2005 r. Źródło: <https://wody.isok.gov.pl> (dostęp: 15.06.2020)

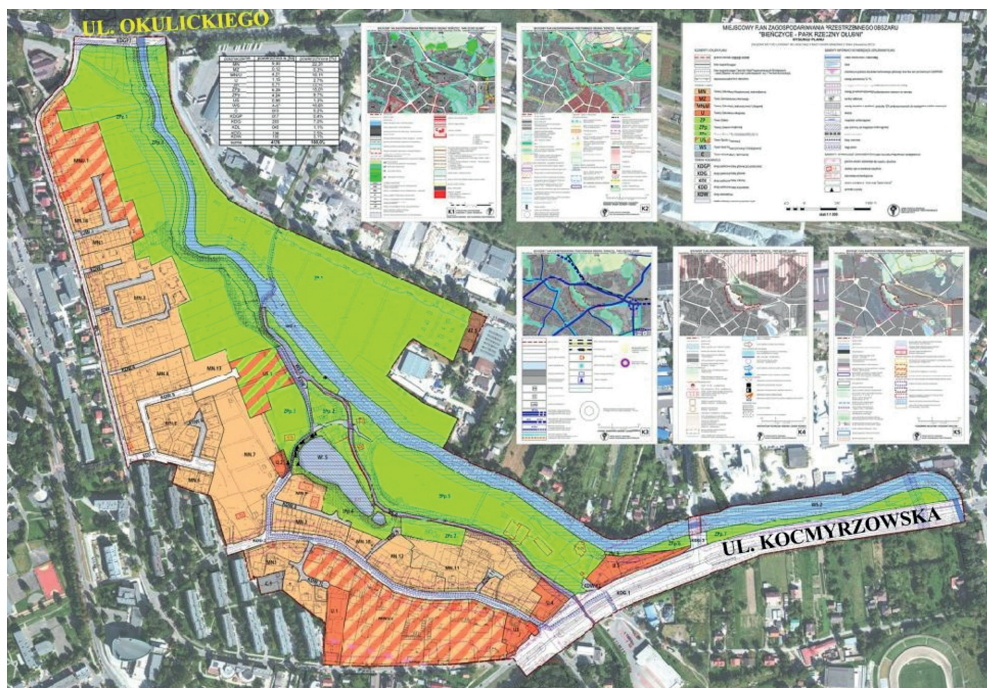
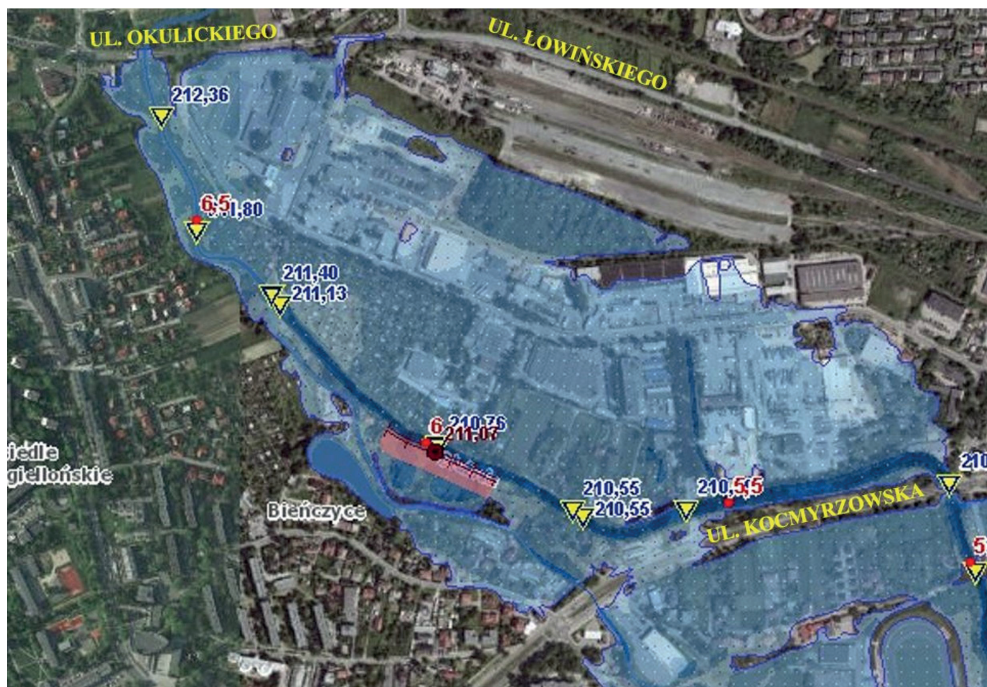
Natomiast na ilustracji 4.21 zaprezentowano wyciąg z planu miejscowego, obowiązującego od 6 maja 2005 r. w obszarze szczególnego zagrożenia powodziowego. Pokazuje on istniejącą zabudowę, ale dopuszcza rozwój strefy zabudowy MU – mieszkalno-usługowej, MN – zabudowy jednorodzinnej, a także IT – infrastruktury technicznej na obszarach objętych zagrożeniem powodziowym.

Brak zaznaczenia zasięgu strefy zagrożenia, a plan jest obowiązujący i na jego podstawie, w poszczególnych strefach zabudowy i użytkowania terenu, realizowane są inwestycje.

Z kolei na wyżej położonym odcinku rzeki Dłubni, w ramach planu miejscowego z 15 maja 2013 r., ustalono strefę parku rzeczny „Bięczyce Park Rieczny Dłubni”, co pokazano na ilustracji 4.22. Jest to obszar o udokumentowanym zagrożeniu, wymagający również rewitalizacji jakościowej środowiska, dlatego też został włączony do sieci parków rzecznych w Krakowie.



II. 4.21. Wyciąg z planu miejscowego Krzesławice z 6 maja 2005 r. Źródło: uchwała RMK nr LXXII/700/05 z dnia 2.03.2005 r.



Il. 4.22. Fragment planu miejscowego Bieńczyce Park Reczny Dłubnia z 15 maja 2013 r., gdzie planowane zagospodarowanie przybrzeżne Dłubni obejmuje teren zieleni publicznej

Dla przypomnienia, zgodnie z ustawą Prawo wodne, obszary szczególnego zagrożenia powodzią to:

- a) **obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 1%,**
- b) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest wysokie i wynosi 10%,
- c) obszary między linią brzegu a wałem przeciwpowodziowym lub naturalnym wysokim brzegiem, w który wbudowano wał przeciwpowodziowy,
- d) pas techniczny (przymorski).

Niestety, można domniemywać, że jedynie aktualizacja lub nowo opracowywane dokumenty studium lub planów miejscowych mają obowiązek uwzględniać te wymagania, ponieważ one same są prawem obowiązującym, a prawo nie działa wstecz. W tej sytuacji dokumenty procedowane po 2015 r. powinny zawierać stosowną dokumentację zasięgu zagrożenia powodziowego.

4.4.2. ZAGOSPODAROWANIE PRZESTRZENNE W ZARZĄDZANIU RYZYKIEM POWODZIOWYM

Jest to dwukierunkowe działanie skierowane na:

- 1) uwzględnienie aktualnego stanu użytkowania terenu i jego zabudowy na potrzeby analizy i prezentacji ryzyka powodziowego oraz wskazania działań dla jego ograniczenia; stanowi to przedmiot obowiązujących PZRP (zob. rozdz. 4.2),
- 2) ograniczenia w użytkowaniu terenu i jego zabudowie, wynikające z ustaleń planu zarządzania ryzykiem powodziowym (PZRP) oraz map zagrożeń i ryzyka stanowiących jego integralną część.

W przypadku delegacji ustawowej, skierowanej na ograniczenia w użytkowaniu terenu i jego zabudowie na mocy PZRP, Prawo wodne, według stanu na 25 maja 2020 r., wprowadza następujące określone prawnie zasady:

„**Art. 166. 1.** W celu zapewnienia ochrony ludności i mienia przed powodzią:

- 1) obszary szczególnego zagrożenia powodzią uwzględnia się w koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju, planie zagospodarowania przestrzennego województwa, strategii rozwoju województwa, ramowego studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego związku metropolitalnego, studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego, gminnym programie rewitalizacji, decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego oraz w decyzji o warunkach zabudowy;
- 2) poziom zagrożenia powodziowego wynikający z wyznaczenia obszarów szczególnego zagrożenia powodzią uwzględnia się w decyzjach o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego oraz decyzjach o warunkach zabudowy, dotyczących nieruchomości w całości lub w części położonych na tych obszarach.

2. Projekty:

- 1) strategii rozwoju województwa,
- 2) planu zagospodarowania przestrzennego województwa,
- 3) ramowego studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego związku metropolitalnego,
- 4) studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy,
- 5) miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego,
- 6) gminnego programu rewitalizacji,
- 7) **decyzji o warunkach zabudowy,**
- 8) **decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego,**
- 9) **decyzji o ustaleniu lokalizacji linii kolejowej,**

- **wymagają uzgodnienia z Wodami Polskimi w zakresie dotyczącym zabudowy i zagospodarowania terenu położonego na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią.**

3. Dokonując uzgodnień, o których mowa w ust. 2, Wody Polskie uwzględniają prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi, poziom zagrożenia powodziowego, proponowaną zabudowę i zagospodarowanie terenu położonego na obszarze szczególnego zagrożenia powodzią, a także jego aktualne zagospodarowanie i dotychczasowe przeznaczenie. [...]

8. W decyzji, o której mowa w ust. 5, określa się wymagania lub warunki dla:

- 1) **planowanej zabudowy,**
- 2) **planowanego zagospodarowania,**

- **terenów położonych na obszarze szczególnego zagrożenia powodzią.**

[...]

10. Uzgodnienia, o którym mowa w ust. 2, odmawia się, jeżeli planowana zabudowa lub planowane zagospodarowanie terenu położonego na obszarze szczególnego zagrożenia powodzią:

[...]

- 2) **naruszają ustalenia planu zarządzania ryzykiem powodziowym;**

[...]

14. **Minister właściwy do spraw gospodarki wodnej, minister właściwy do spraw gospodarki morskiej oraz minister właściwy do spraw budownictwa, planowania i zagospodarowania przestrzennego oraz mieszkalnictwa w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw transportu oraz ministrem właściwym do spraw żeglugi śródlądowej określają, w drodze rozporządzenia, zakres wymagań oraz warunków dla planowanej zabudowy oraz planowanego zagospodarowania terenów położonych na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią oraz sposób ich ustalania, kierując się koniecznością zapewnienia ochrony przed powodzią oraz zakresem aktów, o których mowa w ust. 2”.**

Wynika z nich, że niezależnie od oczekiwania na zweryfikowane i nowe dokumenty planistyczne, każda decyzja o warunkach zabudowy (art. 166, ust. 2, pkt 7),

wydawana na mocy obowiązujących dokumentów planistycznych, wymaga uzgodnienia z Wodami Polskimi w zakresie dotyczącym zabudowy i zagospodarowania terenu położonego na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią.

Jak wynika z zapisu ustępu 14 tego artykułu, podstawą uzgodnień jest akt niższego rzędu, wydany przez ministra właściwego do spraw gospodarki wodnej. W nowym porządku prawnym jest to rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej oraz Ministra Inwestycji i Rozwoju w sprawie zakresu wymagań oraz warunków dla planowanej zabudowy oraz planowanego zagospodarowania terenów położonych na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią oraz sposobu ich ustalania (Dz.U. z 8 lutego 2019 r., poz. 244).

Analizując zapisy tego aktu, nie można w nim odnaleźć zakazów zabudowy, pomimo że odnosi się on do wszystkich stref szczególnego zagrożenia powodzią, czyli także tej najbardziej niebezpiecznej dla $Q_{10\%}$. Określa on jedynie wymagania formalne, które muszą zostać spełnione przy uzgadnianiu warunków zabudowy, posadowienia obiektów i wykorzystania ich kondygnacji przyziemnych. Jednocześnie odwołuje się do zapisów PZRP, w których również nie odnajdujemy stosownych zaleceń.

Można zatem podsumować, że dopóki zapisy prawne nie osiągną pożądanego poziomu synergii i powiązania, brak jest formalnych możliwości odpowiedzialnego powiązania miejskich dokumentów planistycznych z ustaleniami PZRP. Można jedynie liczyć na uzgodnienia bazujące na interesie społecznym i ekonomicznym.

To potwierdza, wspomniane na wstępie – w rozdziale 4.1, podejście adaptacyjne w rozwoju procedury wdrażania w system formalno-prawny kolejnych etapów planistycznych w zarządzaniu ryzykiem powodziowym. System planowania przestrzennego od 2003 r., a nawet wcześniej, jest ustabilizowany pod tym względem i posiada jasne zasady legalności.

LITERATURA

- [1] *Analiza dokumentów dotyczących zabezpieczenia przeciwpowodziowego wraz z rekomendacjami*, CERMET-BUD sp. z o.o., Kraków 2016.
- [2] *Analiza i diagnoza problemów zarządzania ryzykiem powodziowym*, dokument towarzyszący PZRP, IMGW-PIB, Grontmij Polska sp. z o.o., ARCADIS sp. z o.o., DHI Polska sp. z o.o., Warszawa 2014; <http://www.powodz.gov.pl/pl/biblioteka>.
- [3] *Atlas Miasta Krakowa*, K. Trafas (red.), Warszawa–Wrocław 1988.
- [4] Bedryj M., *Analiza przestrzennego rozkładu ryzyka powodziowego*, prezentacja z konferencji projektu „Stop Powodzi”, 23 czerwca 2020 r., IMGW-PIB, Warszawa 2020.
- [5] Bielański A.K., *Materiały do historii powodzi w dorzeczu górnej Wisły*, Politechnika Krakowska, Kraków 1997.
- [6] Bojarski A., Gręplowska Z., Nachlik E., Kondel B., Zaleski J., *Program ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły – geneza i przyjęte rozwiązania*, „Gospodarka Wodna”, nr 10, 2011, 407-413.
- [7] Bojarski A., Nachlik E., *Kanał Krakowski – przeszłość czy przyszłość?*, „Gospodarka Wodna”, nr 12, 2017, 397-401.
- [8] Bojarski A., Nachlik E., *System ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły. Wrażliwość elementów systemu na wielkie wezbrania*, „Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie”, nr 4, 2010, 160-165.
- [9] Bonenberg J., Nachlik E., *Aplikacja Land Cover Method (LCM) do polskich warunków*, „Gospodarka Wodna”, nr 10, 2007, 413-418.
- [10] Cebulak E., *Zmienność maksymalnych opadów dobowych w dorzeczu górnej Wisły*, „Wiadomości IMGW”, t. XVII, z. 1, 1994, 83-91.
- [11] Cebulska M., Szczepanek R., Twardosz R., *Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły. Opady średnie roczne (1952-1981)*, Politechnika Krakowska, Uniwersytet Jagielloński, Kraków 2013.
- [12] Chojnacki J., *Szacowanie przewidywanych strat powodziowych w terenach zurbanizowanych metodą typizacji zagospodarowania obszarów zagrożonych*, „Gospodarka Wodna”, nr 10, 2000, 368-373.
- [13] *Climate Change 2013, Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva 2014.

- [14] Cyberski J., Grześ M., Gutry-Korycka M., Nachlik E., Kundzewicz Z.W., *History of floods on the River Vistula*, „Hydrological Sciences Journal”, 51(5), 2006, 799-817.
- [15] Czaja S., *Zmiany zagospodarowania przestrzennego i powierzchniowej sieci hydrograficznej na obszarze miasta Sosnowca w latach 1783-1985*, „Rocznik Sosnowiecki”, t. 3, 1994, 68-84.
- [16] *Dokument koncepcyjny nowego projektu ochrony przeciwpowodziowej Dorzecza Górnej Wisły*, Odra River Flood Protection Project Coordination Unit, Wrocław 2015.
- [17] *Drainage Criteria Manual*, Urban Drainage and Flood Control District, Denver 2001 (revisited 2008).
- [18] Dumieński G., Lisowska A., Bedryj M., Tiukało A., *Ocena zrównoważenia polityki przeciwpowodziowej państwa z wykorzystaniem zintegrowanego ryzyka środowiskowego*, [w:] R.F. Sadowski, Z. Łepko (red.), *Theoria i praxis zrównoważonego rozwoju. 30 lat od ogłoszenia Raportu Brundtland*, TNFS, Warszawa 2017, 579-690.
- [19] *Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej*, Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW), 2000.
- [20] *Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim*, Dyrektywa Powodziowa (DP), 2007.
- [21] EEA, Europejska Agencja Środowiska, baza danych; <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>.
- [22] *Evaluation of the Impact of Floods and Associated Protection Policy*, European Commission DG Environment, Final Report, 2005.
- [23] *Global Warming of 1,5°C*, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva 2018.
- [24] Godyń I., *Ocena efektywności ekonomicznej inwestycji przeciwpowodziowych*, „Gospodarka w Praktyce i Teorii”, nr 1 (38), 2015, 5-22; doi: 10.18778/1429-3730.38.01.
- [25] Godyń I., *Ocena ryzyka powodziowego – wskaźniki wartości mienia na terenach mieszkalnych*, „Gospodarka Wodna”, nr 11, 2018, 337-340.
- [26] *Guidance for Reporting under the Floods Directive (2007/60/EC)*, European Commission, Technical Report 2013 – 071, 2013.
- [27] Hartmann T., Spit T., *Legitimizing differentiated flood protection levels – Consequences of the European flood risk management plan*, „Environmental Science & Policy”, Vol. 55, Part 2, 2016, 361-367; doi: 10.1016/j.envsci.2015.08.013.
- [28] *Hydrauliczne podstawy obliczania przepustowości dolin rzecznych*, J. Kubrak, E. Nachlik (red. nauk.), SGGW, Warszawa 2003.
- [29] *Identyfikacja i ocena ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych w Polsce w II połowie XX wieku*, IMGW-PIB, Warszawa 2012.

- [30] Klimas M., Lesiak-Przybył B., Sokół A., *Wielki Kraków. Rozszerzenie granic Miasta w latach 1910-1915*, Archiwum Państwowe, Kraków 2010.
- [31] *Klimat ryzyka*, Polska Izba Ubezpieczeń, 2018.
- [32] *Koncepcja ochrony przed powodzią Wisły i jej dopływów w rejonie Sandomierza i Tarnobrzega*, projekt zrealizowany na zlecenie Świętokrzyskiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych, Kraków 2011.
- [33] Kundzewicz Z.W., Pińskwar I., Brakenridge G.R., *Changes in river flood hazard in Europe: a review*, „Hydrology Research”, 49, 2018, 294-302; doi: 10.2166/nh.2017.016.
- [34] Lamothe D.N., Neveu G., Gorlach B., Interwies E., *Evaluation of the impact of floods and associated protection policies*, European Commission DG Environment, 2005.
- [35] *Language of Risk*, Report No T32-04-01 of the Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies project FLOOD-Site, 2nd ed., Wallingford 2009.
- [36] Łasut A., *Koszty i korzyści z wprowadzenia w Polsce systemu ubezpieczeń obywatelskich od skutków powodzi*, praca doktorska, AGH, Kraków 2006.
- [37] *Materiały wykładowe pt. Infrastruktura Przeciwpowodziowa*, A. Bojarski, E. Nachlik (oprac. aut.), 2018.
- [38] *Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego*, DHI Polska sp. z o.o., 2009; http://www.powodz.gov.pl/pl/mapy_I_cykl_planistyczny_2013.
- [39] *Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego w II cyklu planistycznym*, IMGW-PIB, Arcadis sp. z o.o., Warszawa 2019.
- [40] *Metodyka opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszarów dorzeczy i regionów wodnych*, załącznik do raportu ze zmian do „Metodyki PZRP”, IMGW-PIB, Warszawa 2013.
- [41] *Metodyka wstępnej oceny ryzyka powodziowego*, IMGW-PIB, Warszawa 2008.
- [42] Motak M., *Historia rozwoju urbanistycznego Krakowa w zarysie*, Politechnika Krakowska, Kraków 2012.
- [43] Nachlik E., Kostecki S., Gądek W., Stochmal R., *Strefy zagrożenia powodziowego*, Wydawnictwo Biura Koordynacji Projektu Banku Światowego, Wrocław 2000.
- [44] Nachlik E., Kundzewicz Z.W., *History of Floods on the Upper Vistula*, [in:] Z. Kundzewicz, M. Stoffel, T. Niedźwiedź, B. Wyżga (Eds), *Flood Risk in the Upper Vistula Basin*, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, Springer, Cham 2016; doi: 10.1007/978-3-319-41923-7_13.
- [45] Nachlik E., Zaleski J., *Działania rządu i parlamentu po 1997 r. w sferze ochrony przeciwpowodziowej*, Ekspertyza nr OE-132, Kancelaria Senatu RP, Warszawa 2010.
- [46] *Ochrona środowiska 2016*, Rocznik statystyczny, GUS, Warszawa 2017.
- [47] *Opracowanie koncepcji ograniczenia zagrożeń wynikających z braku możliwości efektywnego odprowadzenia wód opadowych systemem kanalizacyjnym w Krakowie, Etap I: Identyfikacja przyczyn, stanu i skutków obecnego funkcjonowania systemu*, projekt na zlecenie MPWiK w Krakowie, Politechnika Krakowska, Kraków 2015.

- [48] *Ośrodki Koordynacyjno-Informacyjne Ochrony Przeciwpowodziowej (OKI) w Krakowie, we Wrocławiu i w Gliwicach*, raport z realizacji Komponentu B.1.1.2 Projektu Banku Światowego „Usuwanie skutków powodzi w Polsce”, Kraków 2005.
- [49] Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 2007, 1633-1644.
- [50] Penning-Rowsell E., Priest S., Parker D., Morris J., Tunstall S., Viavattene C., Chatterton J., Owen D., *Flood and coastal erosion risk management. A Manual for Economic Appraisal*, Routledge, New York 2013.
- [51] *Plan Adaptacji Miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030*, Kraków 2018; https://www.bip.krakow.pl/?dok_id=114317.
- [52] *Podręcznik adaptacji dla miast. Wytyczne do przygotowania Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu*, Ministertwo Środowiska, Warszawa 2015; <http://44mpa.pl/podrecznik-do-adaptacji/>.
- [53] Porębska A., Godyń I., Radzicki K., Nachlik E., Rizzi P., *Built Heritage, Sustainable Development, and Natural Hazards: Flood Protection and UNESCO World Heritage Site Protection Strategies in Krakow, Poland*, *Sustainability*, 11, 2019, 4886.
- [54] *Program Ochrony przed Powodzią w Dorzeczu Górnej Wisły*, dokument ustanowiony jako Program Rządowy 9 sierpnia 2011, Warszawa 2011.
- [55] *Raport z opracowania programu działań dla Regionu Wodnego Górnej Wisły*, DHI Polska sp. z o.o., 2015; <http://www.powodz.gov.pl/pl/biblioteka>.
- [56] *Raport z przeglądu i aktualizacji wstępnej oceny ryzyka powodziowego*, Sweco Consulting sp. z o.o., IMGW-PIB, Warszawa 2018; http://www.powodz.gov.pl/pl/biblioteka_mapy.
- [57] *Raport z wykonania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego, Zał. nr 1 Raport – przygotowanie danych hydrologicznych*, IMGW-PIB, Warszawa 2013; www.kzgw.gov.pl/files/mzp-mrp/zal1.pdf.
- [58] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 października 2016 r. w sprawie przyjęcia Planu zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły, Dz.U. 2016, poz. 1841.
- [59] *Sposób na wielką wodę*, PGW WP, Warszawa 2018; <https://tvnmeteo.tvn24.pl/archiwum-2018-06-05,1/sposob-na-wielka-wode,258605,0.html>.
- [60] *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030 (SPA2020)*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2013; <http://klimada.mos.gov.pl/>.
- [61] Tokarczyk T., Tiukała A., *Wariantowanie metod ochrony przeciwpowodziowej w świetle wymogów Dyrektywy powodziowej oraz Ramowej dyrekty wodnej*, [w:] M. Pchalek (red.), *Gospodarowanie wodami: kluczowe wyzwania w ramach nowego cyklu planistycznego*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2020, 157-180.

- [62] Trojnarowski Ł., *Ekonomiczne aspekty wariantowania metod ochrony przeciwpowodziowej*, [w:] M. Pchałek (red.), *Gospodarowanie wodami: kluczowe wyzwania w ramach nowego cyklu planistycznego*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2020, 295-322.
- [63] Uchwała Nr CXV/3043/18 Rady Miasta Krakowa w sprawie realizacji Planu Ograniczenia Skutków Powodzi oraz Odwodnienia Miasta Krakowa, RMK, Kraków 2018.
- [64] Uchwała Nr LXVI/554/00 Rady Miasta Krakowa z dnia 6 grudnia 2000 r. w sprawie przyjęcia Lokalnego planu ograniczania skutków powodzi i profilaktyki powodziowej dla Krakowa, RMK, Kraków 2000.
- [65] Ustawa Prawo wodne z dnia 20 lipca 2017 r., Dz.U. 2017, poz. 1566 z późn. zm.
- [66] *Wielowariantowy program inwestycyjny wraz z opracowaniem strategicznej oceny oddziaływania na środowisko dla cieków Aglomeracji Krakowskiej z wyłączeniem rzeki Wisły*, raport projektu zrealizowanego przez MGGP i Cermet-BUD na zlecenie Małopolskiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych, Kraków 2014.
- [67] Wojciechowski W., *Ocena stanu zabezpieczenia przeciwpowodziowego miasta Krakowa*, Urząd Miasta Krakowa, Kraków 2015.
- [68] Wojciechowski W., *Raport po powodzi z maja i czerwca 2010 r.*, Urząd Miasta Krakowa, Kraków 2010.
- [69] Wójcik A., Rączkowski Z., Niescieruk P., Marciniak P., Zimnal Z., *Dane archiwalne i System Osłony Przeciwosuwiskowej*, Karpacki Oddział PIG-PIB, Kraków 2015; <http://www.pig.gov.pl>.
- [70] *Wstępna ocena ryzyka powodziowego*, 2018; http://www.powodz.gov.pl/pl/biblioteka_mapy.
- [71] *Zarządzanie zagrożeniem powodziowym. Zapobieganie powodziom, ochrona przeciwpowodziowa i ograniczanie skutków powodzi*, Komisja Wspólnot Europejskich, COM, 472, Bruksela 2004.
- [72] *Zmiana Studium Uwarunkowań i Kierunków Rozwoju Miasta Krakowa*, Urząd Miasta Krakowa, Kraków 2014.
- [73] *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*, na podstawie wyników projektu CHASE-PL i raportów IPPC, Z.W. Kundzewicz, O. Hov, T. Okruszko (red. nauk.), Ridero IT Publishing, Poznań 2017.

DEFINICJE PODSTAWOWYCH TERMINÓW I STOSOWANYCH AKRONIMÓW

Termin/Akronim	Definicja/określenie
Analiza DPSIR	Analiza przyczynowo-skutkowa DPSIR (ang. <i>Driver-Pressure-State-Impact-Response</i>), w której przedstawia się ciąg zdarzeń sprawczych, stanu i skutków zagrożenia powodziowego oraz działań w celu jego ograniczenia.
Analiza kosztów i korzyści AKK	Metoda oceny ekonomicznej efektywności inwestycji/projektu, w ramach której analizuje się korzyści i koszty związane z inwestycją/projektem. AKK jest sporządzana z punktu widzenia dobrobytu społeczeństwa – analizowane są wszystkie koszty i korzyści istotne z tego punktu widzenia, w tym społeczne i środowiskowe (efekty zewnętrzne).
Analiza wielokryterialna	Metoda analityczna służąca ocenie względnej alternatywnych rozwiązań/wariantów inwestycji. Ocena i w efekcie wskazanie najlepszego wariantu (lub zbioru wariantów dopuszczalnych lub rankingu wariantów), które są dokonywane według wielu kryteriów oceniających stopień osiągnięcia różnych celów, będących efektem wariantu inwestycji.
BDOT	Baza Danych Obiektów Topograficznych, numeryczna i informacyjna baza danych przestrzennych, obejmująca określony zakres użytkowania i zagospodarowania terenu oraz obiektów na nim zlokalizowanych.
Dorzecze	Obszar łądu, z którego całkowity odpływ wód powierzchniowych do wód morskich następuje ciekami naturalnymi przez jedno ujście, lub zlewnia danej rzeki, czyli cały obszar, z którego wody powierzchniowe spływają do jednej rzeki lub bezpośrednio do morza. Granicą dorzecza jest dział wodny. Na terytorium Polski znajdują się w całości lub w części dorzecza takich rzek jak: Wisła (wraz z przypisaną temu dorzeczcu częścią rzek przymorza Bałtyku), Odra (wraz z przypisaną temu dorzeczcu częścią rzek przymorza Bałtyku), Niemen, Łaba, Dniestr, Dunaj, Banówka, Pregola i Świeża. Historycznie dorzecza dużych rzek dzielą się na części geograficznie odrębne, jak np. dorzecze Wisły, w którym wyróżniamy dorzecze Małej Wisły oraz górnej, środkowej i dolnej Wisły. Formalnie, zgodnie z Prawem wodnym, dorzecza dzielone są na regiony wodne.
Dyrektywa Powodziowa	Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim. Potocznie jest nazywana Dyrektywą Powodziową. Weszła w życie dnia 26 listopada 2007 r.

Efekty zewnętrzne	Efekty zewnętrzne to koszty albo korzyści wynikające z inwestycji/projektu, które nie są wliczane do rachunku ekonomicznego inwestora, lecz są przenoszone na inne podmioty gospodarcze, społeczeństwo lub środowisko naturalne, niezależne od ich woli. Mogą mieć charakter pozytywny (korzyści) lub negatywny (kosztu). W analizie kosztów i korzyści działań ograniczających ryzyko powodziowe najważniejszym efektem zewnętrznym są korzyści z obniżenia strat powodziowych.
Ekspozycja na powódź	Stan zagospodarowania zagrożonego terenu, rozumiany jako obiekty, infrastruktura i społeczności znajdujące się na terenach zagrożonych.
Fala powodziowa	Przejściowe zjawisko hydrologiczne, powstające w naturalnych ciekach wodnych, zbiornikach wodnych, kanałach lub na morzu w wyniku nagłego spływu dużych mas wody opadowej lub roztopowej. Masa wodna tworzy wysoki stan poziomu wody w kształcie frontu przesuwanego się wzdłuż cieku wodnego, stwarzając potencjalne zagrożenie powodziowe i wywołując szkody oraz straty powodziowe. W zbiornikach wodnych, na skutek awarii zapory wodnej, może powstać uderzeniowa fala powodziowa o bardzo stromym froncie, powodująca ogromne zniszczenia w terenach niżej położonych.
IPPC	Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu, opracowujący cyklicznie raporty dotyczące zmian klimatu i ich skutków.
ISOK – Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami	Projekt realizowany w ramach 7. osi priorytetowej „Społeczeństwo informacyjne – budowa elektronicznej administracji” Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013, w latach 2011-2015. Celem projektu było stworzenie kompleksowego systemu osłony społeczeństwa, gospodarki i środowiska na bazie elektronicznej platformy informatycznej, wraz z niezbędnymi rejestrami referencyjnymi, jako narzędzia do zarządzania kryzysowego. Jednym z jego podstawowych elementów są mapy zagrożenia i ryzyka powodziowego.
Koryto rzeki / Koryto główne	Koryto rzeki to najniższa część doliny rzeki, która znajduje się w obrębie jej dna i przez którą okresowo lub ciągle płynie woda, dokonując zmian w kształcie powierzchni, zwanej łóżyskiem rzeki. / Koryto główne to, liczona od dna łóżyska rzeki, ta część jej koryta, której odpowiada tzw. przepływ średnioroczny.
Koryto wielkiej wody	To zasięg koryta rzeki odpowiadający najwyższym przepływom historycznym lub potencjalnym prawdopodobnym (np. Q1%, Q0,1%). Jego zasięg jest ograniczony albo naturalnym ukształtowaniem doliny rzeki, albo budowlą hydrotechniczną, najczęściej wałami przeciwpowodziowymi.
Mapy Zagrożenia Powodziowego (MZP) i Mapy Ryzyka Powodziowego (MRP)	Dokumenty planistyczne wymagane Dyrektywą Powodziową. Zakres i metodyka sporządzania map jest określona ustawą Prawo wodne (Dz.U. 2017, poz. 1566 z późn. zm.).

Metodyka	Kompleksowe ujęcie sposobu i zakresu podejścia oraz metody rozwiązania, a także zbiór procedur koniecznych do wykonania konkretnego elementu koncepcyjnego, planistycznego lub projektowego na potrzeby uzyskania określonego efektu (np. mapy zagrożenia powodziowego w ocenie zagrożenia lub analiza i wybór działań w ochronie przed powodzią).
Model hydrauliczny	Model komputerowy umożliwiający wykonanie symulacji przepływu/ wezbrania i rozwoju powodzi na odcinku systemu rzeczno (rzeki, jej dopływów, zbiornika retencyjnego). Podstawą modelu komputerowego jest matematyczny model przepływu w układzie jedno- lub dwuwymiarowym (1D, 2D) oraz opis systemu rzeczno na bazie przekrojów poprzecznych, NMT i parametrów obiektów wodnych zlokalizowanych w jego obszarze. Symulacje realizowane są dla określonych scenariuszy dopływu i pracy obiektów oraz urządzeń wodnych. W jego wyniku uzyskuje się przestrzenny i czasowy rozkład parametrów przepływu. Wyniki modelu hydraulicznego umożliwiają wygenerowanie strefy zagrożenia powodziowego.
MPA – Miejskie Plany Adaptacji do zmian klimatu	Plany adaptacyjne zawierające ocenę wrażliwości miast na zmiany klimatu oraz opracowanie propozycji rozwiązań zwiększających odporność na te zmiany. Projekt MPA (2017-2019) to projekt Ministerstwa Środowiska, w wyniku którego powstały pierwsze plany dla 44 miast powyżej 100 tys. mieszkańców.
NMT (DTM)	Numeryczny Model Terenu, który opisuje topografię terenu na bazie przyjętej siatki przestrzennej. Jest to polskie określenie angielskiego terminu DTM – <i>Digital Terrain Model</i> .
Obszar narażony na niebezpieczeństwo powodzi	Obszary, na których istnieje znaczące ryzyko powodzi lub jest prawdopodobne wystąpienie znaczącego ryzyka powodzi. Na potrzeby PZRP są to obszary określone we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego.
Obszar szczególnego zagrożenia powodziowego	Obszar obejmujący: a) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi raz na 100 lat (1%), które dotyczą przede wszystkim rzeki swobodnie płynącej, b) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest wysokie i wynosi raz na 10 lat ($Q_{10\%}$), które dotyczą przede wszystkim rzeki swobodnie płynącej, c) obszary między linią brzegu rzeki a wałem przeciwpowodziowym lub naturalnym wysokim brzegiem, w który wbudowano wał przeciwpowodziowy, a także wyspy i przymuliska, co dotyczy przede wszystkim rzek obwałowanych, d) przymorski pas techniczny chroniony wałem przeciwsztormowym.
Polder przeciwpowodziowy	Zwykle naturalny obszar zalewowy w rejonie rzeki, zlokalizowany na obszarze jej starorzecza lub doliny zalewowej, także na zawalu rzeki obwałowanej. W okresie wezbrania rzeki jest wykorzystywany do przejścia części wody z koryta rzeki i jej czasową retencję. Obecnie częściej stosowane są rozwiązania oparte na sterowaniu pracą polderu, tak aby przejął on część wód kulminacyjnych fali powodziowej i zatrzymał je na okres przejścia fali w taki sposób, żeby obniżyć wartość kulminacji fali, a następnie opróżnić go, nie powodując dodatkowego zagrożenia.

Powódź	<p>Czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, powstałe na skutek wezbrania wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza, powodujące zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej.</p> <p>Typy/rodzaje powodzi obejmują:</p> <p>powódź rzeczną – wywołaną wezbraniem wód rzecznych, strumieni, potoków górskich, kanałów i jezior,</p> <p>powódź od strony morza (sztormowa) – związaną z zalaniem terenu przez wody morskie, w tym ujściowe odcinki rzek i jeziora przybrzeżne,</p> <p>powódź opadową – związaną z zalaniem terenu wodami pochodzącymi bezpośrednio z opadów deszczu lub topnienia śniegu,</p> <p>powódź gwałtowną, zwaną <i>flash flood</i> – wywołaną szybkim odpływem wód opadowych w obszarach miejskich,</p> <p>podtopienie od wód gruntowych – powódź związaną z zalaniem terenu na skutek podniesienia się poziomu wód powyżej poziomu gruntu.</p>
Powódź historyczna	Powódź zaobserwowana w przeszłości, której charakterystyki (maksymalny przepływ, zasięg zalewu, przebieg czasowy) można odtworzyć na podstawie danych historycznych.
Powódź potencjalna – prawdopodobna	Powódź o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia kulminacji przepływu w określonym profilu/przekroju rzeki. Charakterystyki tej powodzi są szacowane na podstawie miar statystycznych zdefiniowanych na bazie danych historycznych.
Prewencja przeciw-powodziowa	Działania wyprzedzające, które mają na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia w przyszłości ekstremalnego zagrożenia powodziowego.
Przepływ / Natężenie przepływu	Proces ruchu wody w korycie rzeki, rozumiany ilościowo i mierzony w liczbie m ³ wody na jednostkę czasu. / Natężenie przepływu jest lokalizowane w określonym przekroju rzeki i w określonym czasie (chwilo), wyrażone w [m ³ /s].
PZRP – Plan Zarządzania Ryzykiem Powodziowym	To kluczowy dokument planistyczny, wynikający ze zobowiązań z Dyrektywy Powodziowej, który stanowi podstawę decyzji inwestycyjnych w ochronie przed powodzią oraz realizacji działań na rzecz ograniczenia zagrożenia powodziowego. Bazą dla jego realizacji są mapy zagrożenia i ryzyka powodziowego.
RDW – Ramowa Dyrektywa Wodna	Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U. UE L z 22 grudnia 2000 r.). Jej zapisy obowiązują w naszym kraju od momentu przystąpienia Polski do Unii Europejskiej.
Region wodny	Część obszaru dorzecza wyodrębniona na podstawie kryterium hydrograficznego na potrzeby zarządzania zasobami wodnymi lub całość obszaru dorzecza.
Retencja powodziowa/wezbraniowa	Czasowe zatrzymanie części objętości fali wezbraniowej/powodziowej, najczęściej w zbiorniku retencyjnym, polderze i/lub naturalnym procesie retencji przepływowej doliny rzeki/koryta wielkiej wody.

Ryzyko powodziowe	To połączenie prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi oraz potencjalnych negatywnych skutków powodzi dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej.
Scenariusze RCP	Reprezentatywne Scenariusze Stężeń Dwutlenku Węgla, które są identyfikowane przez przybliżone całkowite wymuszenie promieniowania w 2100 r. w stosunku do 1750 r. To scenariusze wykorzystywane w ocenie zmian klimatu i ich skutków.
Straty powodziowe	Finansowy wymiar skutków powodzi w zakresie zniszczonej/uszkodzonej zabudowy, infrastruktury technicznej i transportowej, a także innych bezpośrednich materialnych strat oraz strat pośrednich związanych z przerwaniem ciągłości działalności gospodarczej i społecznej.
Strefy zagrożenia powodziowego	Zasięg zalewu powodziowego z jednoznacznie przypisaną klasyfikacją wielkości zagrożenia. Strefy zagrożenia powodziowego są wyznaczone w celu ilościowego ujęcia problemu występowania zagrożenia i ryzyka powodziowego. Mogą być podstawą opracowania spójnych zasad zarządzania ryzykiem powodziowym.
Szkody powodziowe	Rzeczowy wymiar skutków powodzi w postaci zniszczonej/uszkodzonej zabudowy, infrastruktury technicznej i transportowej, a także innych materialnych strat.
Środki ochrony przed powodzią / Działania techniczne i nietechniczne	Obejmują interwencję techniczną i nietechniczną (zwaną także strukturalną i niestrukturalną) w celu ograniczenia ryzyka powodziowego przez ograniczenie zagrożenia powodziowego, ekspozycji lub wrażliwości na ryzyko powodziowe.
Teren zalewowy	Obszar potencjalnie objęty zalewem wezbraniowym/powodziowym. Zasięg zalewu od zabudowy hydrotechnicznej rzeki oraz od zagospodarowania i zabudowy terenu przybrzeżnego w obszarze koryta wielkiej wody.
Urbanizacja	Proces społeczny, kulturowy i ekonomiczny wyrażający się w rozwoju miast, wzroście ich liczby, powiększaniu obszarów miejskich o tereny podmiejskie i udziału ludności miejskiej w całości zaludnienia (bądź udziału ludności żyjącej według miejskich wzorów). Z procesem urbanizacji wiążą się zmiany w użytkowaniu terenu i jego zabudowie oraz rozwój infrastruktury technicznej i transportowej.
Wezbranie / Fala wezbraniowa	Zjawisko hydrologiczne polegające na podniesieniu stanu wody w rzece lub jeziorze, powstałe w wyniku zwiększonego zasilania lub podpiętrzenia zwierciadła wody, wywołujące zalanie terenów przybrzeżnych. / Fala wezbraniowa odpowiada definicji fali powodziowej, ale nie wywołuje szkód i strat w zakresie społecznym i gospodarczym.
WORP – Wstępna Ocena Ryzyka Powodziowego	Pierwszy z czterech dokumentów planistycznych wymaganych Dyrektywą Powodziową. Celem wstępnej oceny ryzyka powodziowego jest wyznaczenie obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi, czyli obszarów, na których istnieje znaczące ryzyko powodziowe lub na których wystąpienie dużego ryzyka jest prawdopodobne. Wstępną ocenę wykonuje się w oparciu o dostępne lub łatwe do uzyskania informacje.

Wrażliwość na powódź	Podatność elementów zagospodarowania na zagrożenie powodziowe oraz zdolności lokalnych społeczności do przeciwdziałania zagrożeniu i likwidacji skutków katastrofy.
Zagrożenie powodziowe	Opis zagrożenia powodziowego, który obejmuje cechy fizyczne powodzi na danym obszarze (punkcie), czyli głębokość zalewu i jego zasięg, czas trwania i prędkość przepływu. Czasami zagrożenie powodziowe obejmuje również ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia, ale to cecha przynależna do opisu powodzi potencjalnej, a tylko czasami historycznej.
Zbiornik wodny retencyjny (sztuczne jezioro zaporowe)	Sztuczny zbiornik wodny, który powstał w wyniku zatamowania wód rzecznych przez zaporę wodną. Zazwyczaj powstają one na terenach górskich, w wąskich i wysokich dolinach rzek, gdzie przegrodzenie rzeki zaporą jest efektywne, a koszt budowy zapory niższy. Zbiorniki te mogą pełnić wiele funkcji, wśród których pewne nawet się wykluczają (np. funkcja energetyczna i przeciwpowodziowa vs. funkcja zaopatrzenia w wodę i rekreacyjna).
Zlewnia	Obszar lądu, z którego cały spływ powierzchniowy wód jest odprowadzany przez system strug, strumieni, potoków, rzek i kanałów do wybranego przekroju cieków, czyli rzeki, potoku czy kanału.

ANEKS

PRZEPIY W RZECZNY I JEGO OPIS

Aneks obejmuje podstawy hydrauliki rzecznej, opracowane w ograniczonym zakresie na potrzeby zrozumienia podejścia do oceny zagrożenia i ryzyka powodziowego przez studentów kierunku kształcenia Gospodarka przestrzenna.

Materiał zawiera charakterystykę, cechy, a także opis parametrów przepływu rzecznoego w warunkach ustalonych i nieustalonych w podstawowym zakresie. Obejmuje on następujące zagadnienia:

- charakterystykę rzek i przepływu rzecznoego,
- parametryzację dynamiki przepływu i zasięgu zalewów powodziowych z uwzględnieniem cech koryta rzeki i jej obszarów zalewowych,
- wpływ zabudowy hydrotechnicznej i mostowej na dynamikę i elewację wód wezbraniowych.

Niniejszy Aneks został opracowany na podstawie własnej wiedzy autorów niniejszego podręcznika, wspartą ich kompetencjami zawodowymi, udokumentowanymi działalnością ekspercką i projektami studialnymi.

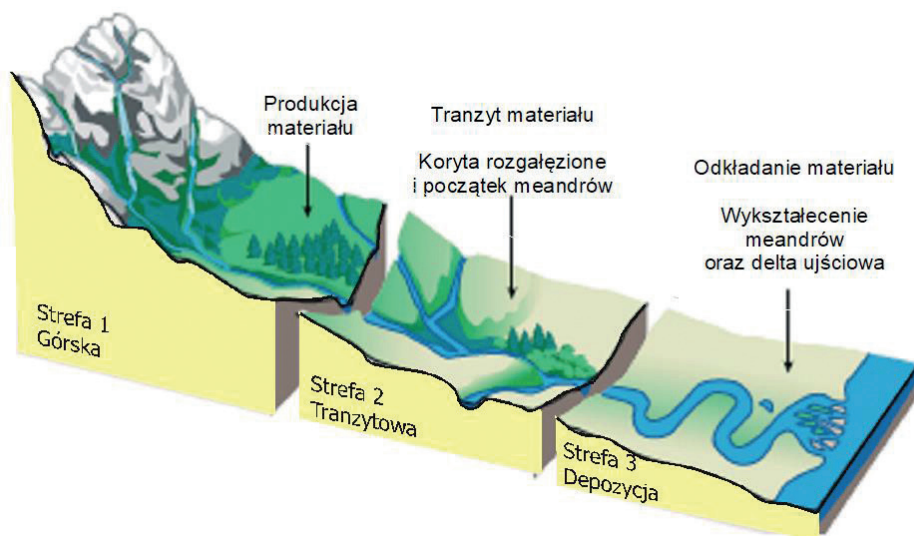
A.1. CHARAKTERYSTYKA RZEK I PRZEPIY W RZECZNEGO

Przystępując do charakterystyki rzek i ich przepływów, w pierwszej kolejności warto sobie uzmysłowić strukturę typowego układu rzecznoego w obrębie jego zlewni zasilającej, poczynając od źródeł do ujścia głównej rzeki tego układu. Typowy układ rzecznoego w naszych warunkach geograficznych obejmuje:

- źródłisko i bieg górski lub inne wzniesienie początkujące grawitacyjny odpływ wód opadowych ze zlewni zasilającej rzekę,
- środkowy bieg rzeki kształtujący jej zasadnicze cechy,
- odcinek ujściowy rzeki do morza lub innej rzeki – odbiornika, zwanego często recipientem.

Taki typowy układ podłużny rzeki z przyległym fragmentem zlewni zasilającej główny odpływ rzecznoego przedstawiono na ilustracji A.1.

Strefa górsko – zwana produktywną, to szybki przepływ, źródło materiału rumowiskowego rozdrabnianego przez rzekę w żwir i piasek, a także transport rumożu drzewnego. W tej strefie zagrożenie powodziowe jest nietypowe. Wywołują je



II. A.1. Typowy układ podłużny zlewni i jej głównego systemu rzecznej

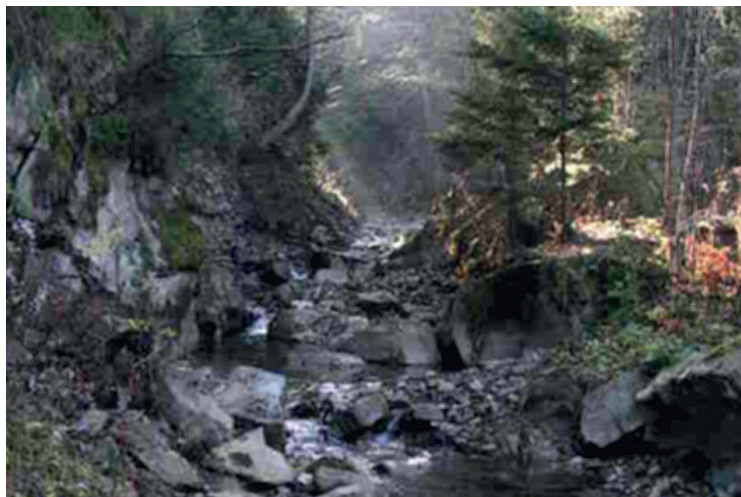
wysokie prędkości przepływu rzecznej niszczące strefę brzegową. Występuje tutaj również zagrożenie osuwiskami.

Strefa tranzytowa – to rzeka rozwinięta w wypłaszczonej dolinie rzecznej, gdzie dużą rolę odgrywa naturalna retencja gruntowa i korytowa, a także roślinna. Jest to rozbudowany układ rzeczny z szerokimi dolinami zalewowymi. To w tej części dochodzi do rozwoju powodzi o rozległym zasięgu i dużej sile, wynikającej z wysokich głębokości przepływu, którym towarzyszy znaczący wzrost prędkości przepływu i zalewanie terenów przybrzeżnych.

Strefa depozycyjna – to odcinki ujściowe rzek do morza (jak na il. A1) lub innych odbiorników rzecznych (np. do Wisły czy Odry). W tej strefie, na skutek obniżenia spadku podłużnego oraz podpiętrzenia wodami odbiornika, następuje odkładanie (depozycja) materiału stałego niesionego przez rzekę. W przypadku odcinków ujściowych do morza tworzą się najczęściej delty rzeczne.

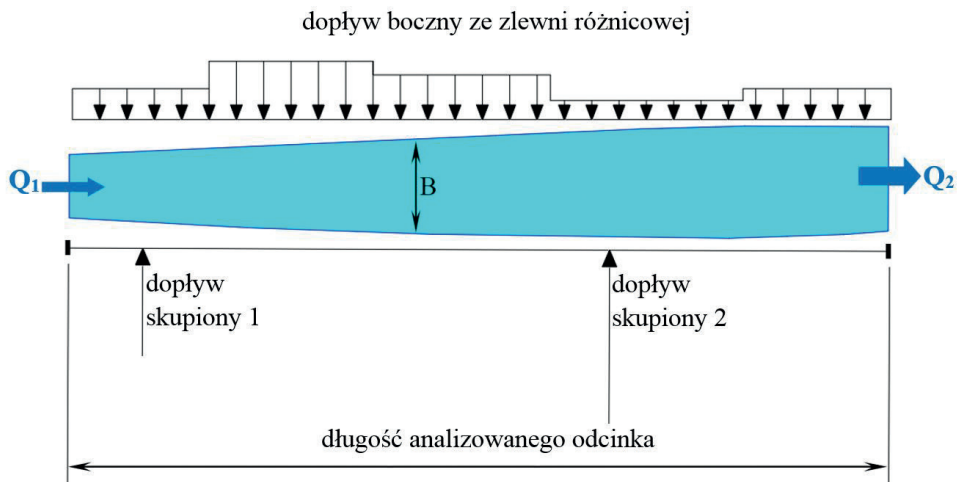
W odcinkach górskich Wisły i Odry mamy do czynienia z korytami górkimi skalistymi (górną Odra) lub skalisto-fluwalnymi (górną Wisła) o znaczących wartościach spadku podłużnego, które przekształcają się jeszcze w tej strefie produktywnej w koryta rzeczne żwirowe, co pokazano na ilustracji A2.

W strefie przejściowej mamy do czynienia z zasadniczym przyrostem wielkości zlewni zasilającej rzekę, a tym samym z gwałtownym wzrostem wartości jej całkowitego przepływu Q ($Q_2 > Q_1$) na skutek zasilania dopływami innych rzek (dopływy skupione) i dopływem ze zlewni rzecznej bezpośrednio zasilającej rzekę (zwłaszcza dopływ podziemny i podpowierzchniowy). Schematycznie tę sytuację pokazano na ilustracji A.3.

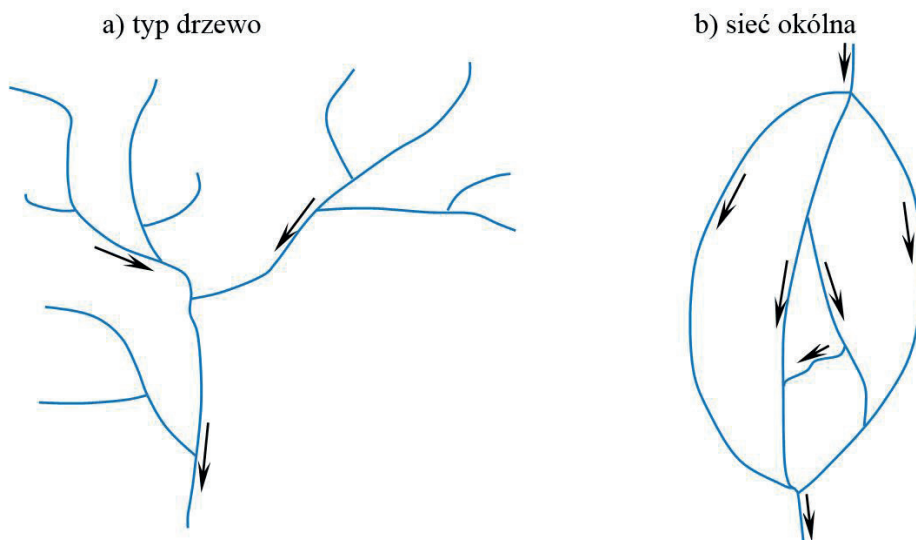


II. A.2. Typowe koryta rzeczne górskie (skaliste – na górze) i podgórskie (żwirowe – na dole).
Fot. J. Korpak

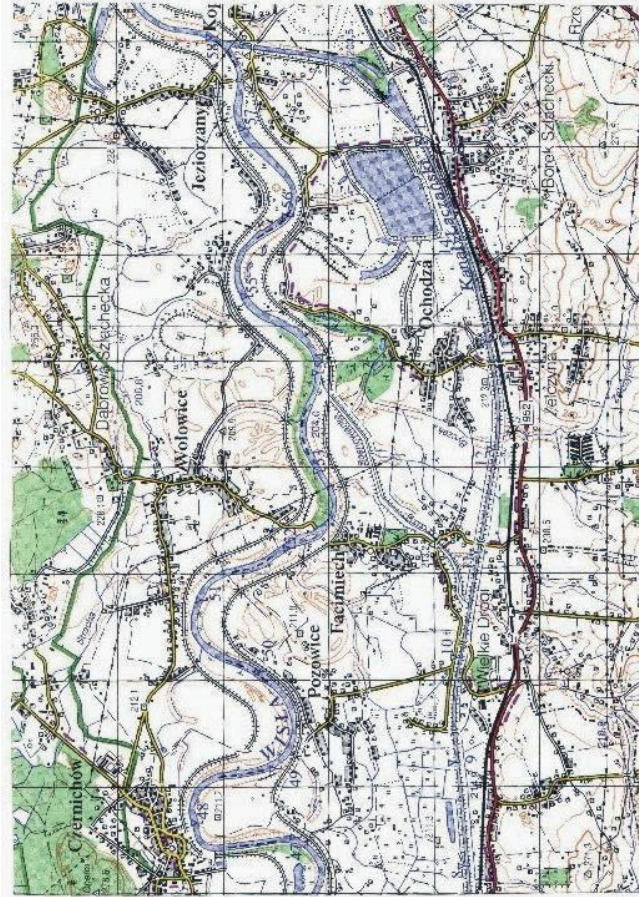
W strefie przejściowej mamy również do czynienia z układami rzecznyymi zasila-
jącymi rzekę i z rozbudowanym systemem koryt połączonych typu drzewo lub ukła-
dy okólne bądź mieszane (il. A.4). Na ilustracji A.5 pokazano mapę z fragmentem
rzeki Wisły powyżej Krakowa, w rejonie Smolic, rozbudowanej w system z Kanałem
Łączany – Skawina. Ukazano tam również kontrolowany wpływ do kanału, regulo-
wany przez stopień wodny „Łączany” na rzece Wiśle.



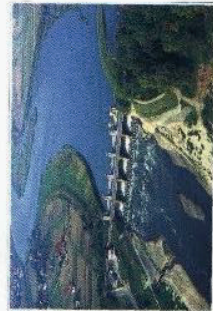
II. A.3. Zasilanie rzeki w jej podłużnym biegu, zwiększające wartości przepływu średniego, wysokiego i niskiego



II. A.4. Podstawowe typy układów rzecznych: a) typ drzewo, zawsze z jednoznacznie określonym kierunkiem przepływu – w kierunku do recipienta; b) sieć okólna, występująca najczęściej na terenach płaskich, gdzie nie ma jednoznacznie określonych kierunków przepływu

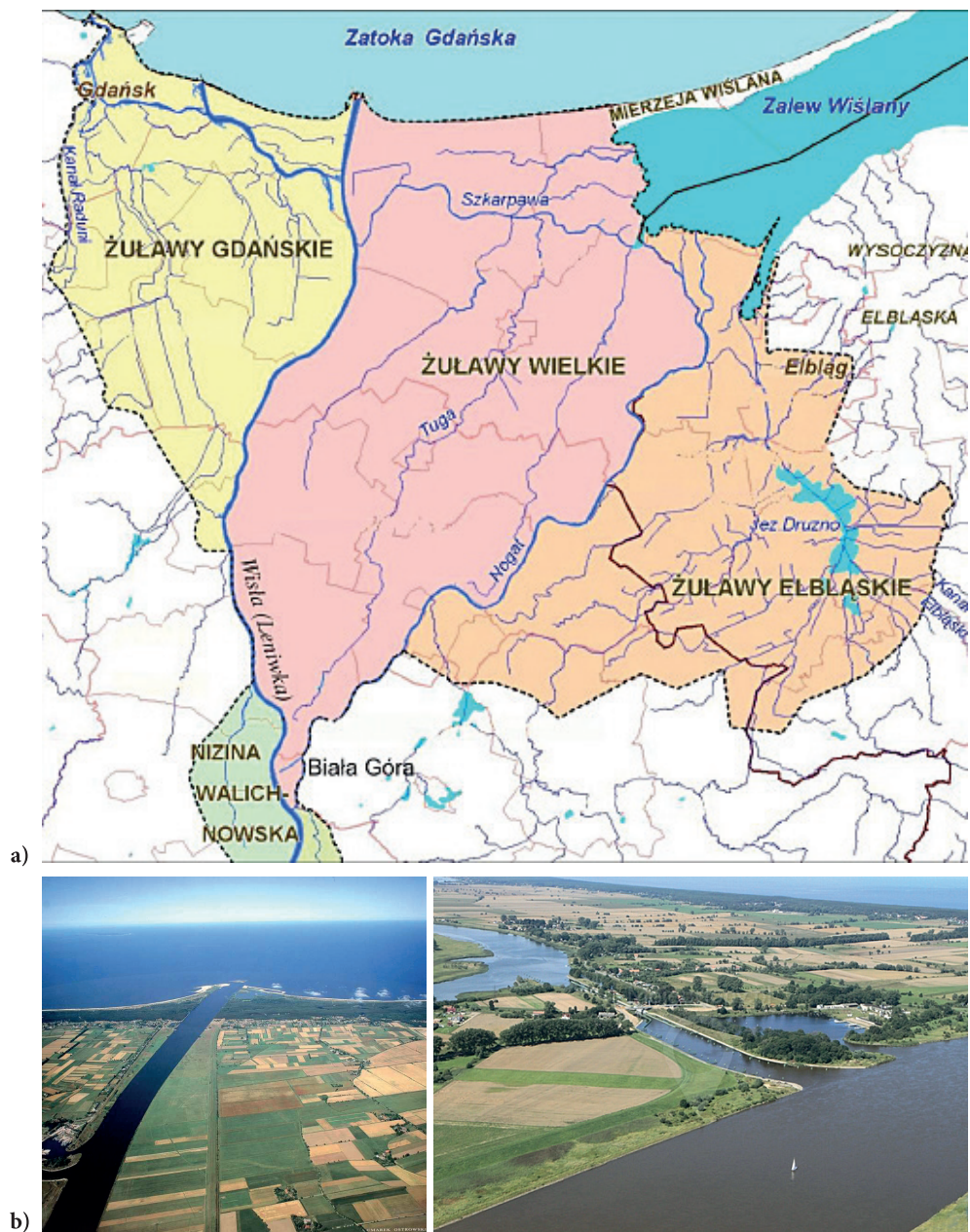


brama
powodziowa
na kanale



stopień wodny
"Łęczany"

II. A.5. Kanał boczny Łęczany, od stopnia wodnego „Łęczany” na Wisłę do bramy powodziowej zamykającej jego dolne połączenie z Wisłą w okresie wezbrań



II. A.6. Delta Wisły w odcinku ujściowym na tle Żuław Wiślanych (a) wraz ze zdjęciami przekopu ujściowego Wisły (b): przekop z widoczną w dolnym lewym rogu odnogą przekopu Wisły (po lewej); widok tej odnogi, zwanej Martwą Wisłą (po prawej)

W odcinku ujściowym Wisły mamy nietypowy układ delty, przekształconej przekopem łączącym uregulowane koryto żeglugowe Wisły z Zatoką Gdańską, w obszarze depresyjnym Żuław (od -50 m do +50 m). Są to tereny powodziogenne, ale jednocześnie wartościowe ekonomicznie ze względu na gospodarkę morską oraz morsko-rzeczną. Na ilustracji A.6 pokazano ujściowy odcinek Wisły na tle mapy Żuław, które zostały objęte programem ochrony przed powodzią.

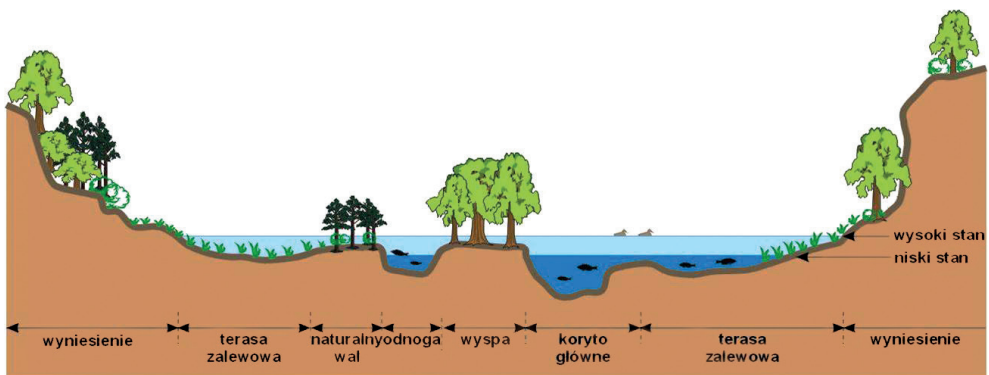
Rzekę i charakterystyki jej przepływu opisujemy w układzie podłużnym, z uwzględnieniem poprzecznej topografii jej koryta i doliny, na podstawie pomierzonych poprzecznych przekrojów koryta rzeki i jej doliny oraz wyznaczonego profilu podłużnego rzeki wzdłuż geometrycznej osi rzeki.

Należy jednak zwrócić uwagę, że rzut poziomy koryta rzecznego nie jest prostoliniowy, lecz krzywoliniowy w swej osi geometrycznej i w liniach brzegów kształtujących granice jej koryta i doliny (jak na il. A.5). Koryto rzeki i jej dolina, traktowane łącznie, nazywane są korytem wielkiej wody, w obrębie którego niskie koryto samej rzeki, odpowiadające średniorocznemu przepływowi, nazywane jest korytem głównym rzeki. Koryto wielkiej wody może mieć granice naturalne (jak na il. A.7) lub ograniczone, najczęściej wałami przeciwpowodziowymi.

Zarówno samo koryto główne, jak i koryto wielkiej wody w swoich przekrojach poprzecznych nie są jednorodne, ale wielopoziomowe, a ich układ kształtują:

- w korycie głównym – o stosunkowo zwartym kształcie – lokalne załamania przekroju, wynikające z wyraźnych czasowych zmienności wypełnienia wodą w okresie rocznym lub dłuższym,
- niższe i wyższe terasy zalewowe albo częściowo wypełnione wodą, albo pokryte wodą jedynie w okresach wysokich wezbrań powodziowych.

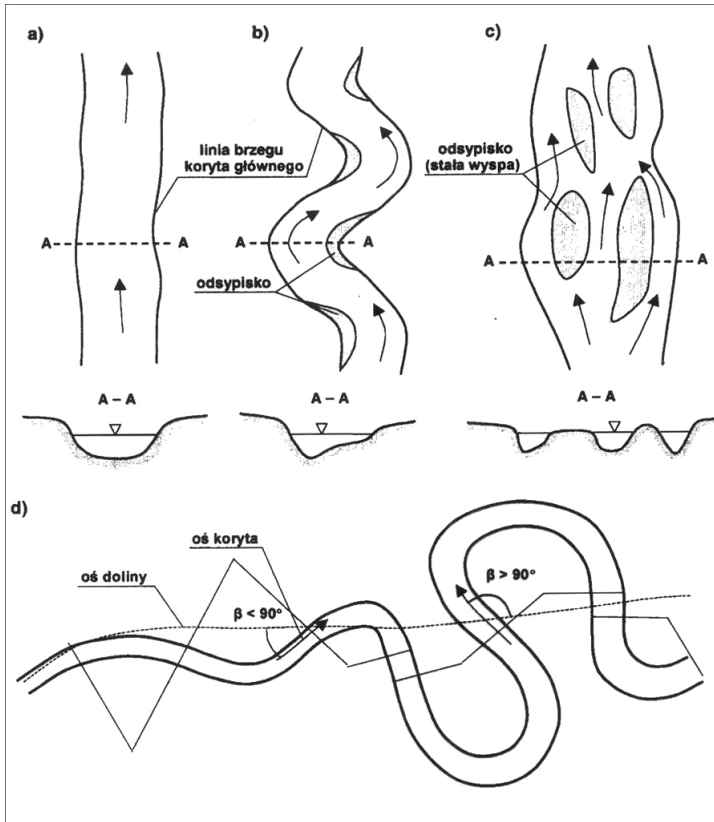
Na ilustracji A.7 pokazano schemat złożonego przekroju poprzecznego rzeki oraz jej terenu zalewowego.



II. A.7. Poprzeczny przekrój rzeki w warunkach złożonej struktury łóżyska jej koryta oraz różnicowanej zabudowy roślinnej. Ciemnoniebieski kolor wyznacza koryto główne i jego części wyżej położone. Jasnoniebieskim kolorem zaznaczono terasy zalewowe

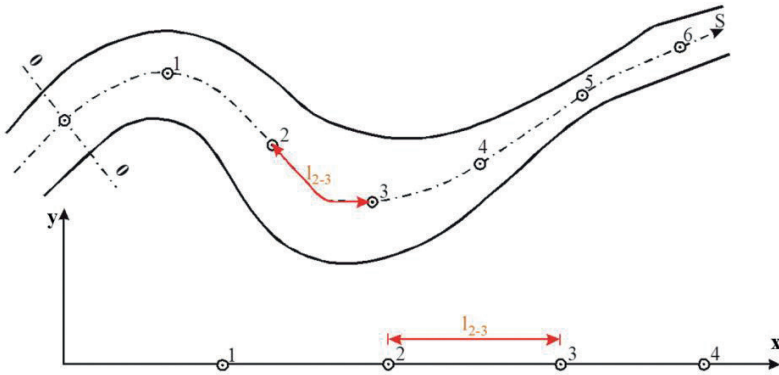
Niezależnie od złożonej struktury koryta rzeczne i jej zmienności na długości rzeki, dominującym kierunkiem przepływu jest kierunek podłużny – wzdłuż osi rzeki, co pokazano na ilustracji A.8. Wynika to z naturalnych warunków przepływu w bardzo zróżnicowanych skalach wymiarowych: podłużnej (długość rzeki), poprzecznej (szerokość rzeki) i wysokościowej (głębokość rzeki). W Polsce rzeki mają długość liczoną w kilometrach, dziesiątkach kilometrów lub w setkach kilometrów, zależnie od wielkości. Ich szerokość natomiast mieści się w granicach od kilku do kilkuset metrów, czasami sięgając nawet kilku kilometrów. Jednak to zawsze wartość o dwa rzędy wielkości niższa od długości. Głębokość wody nie przekracza kilku, kilkunastu metrów, co oznacza, że jest o jeden lub dwa rzędy mniejsza od szerokości.

To zróżnicowanie wymiarów – niezależnie od faktu, że nigdy nie analizujemy całej rzeki (np. Wisły, która ma długość ponad 1000 km), a jedynie jej odcinek – sprawia, że dominujący jest wymiar podłużny, który wyznacza główny kierunek przepływu w planie, a siłą motoryczną tego przepływu jest grawitacja.



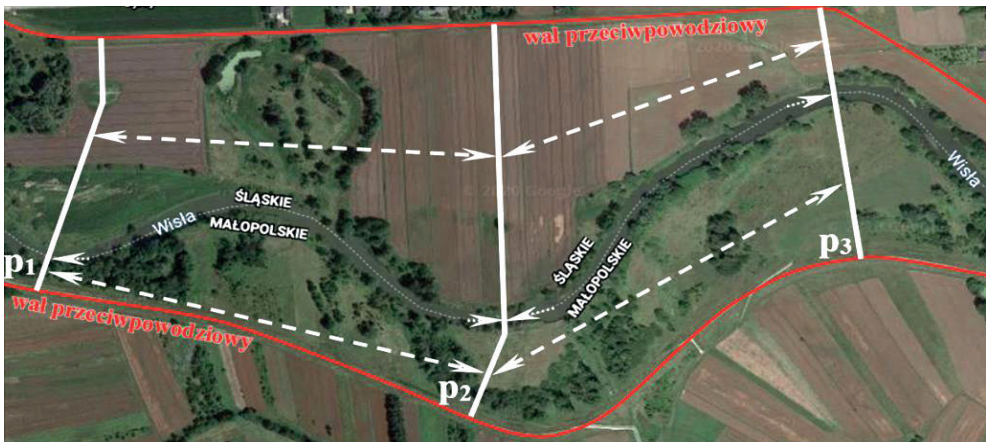
II. A.8. Typy koryt rzecznych: a) prostoliniowe; b) meandrujące; c) roztokowe; d) meandry o różnych kątach rozwarcia – stabilne (po lewej) i skłonne do przerwania meandra i zmiany biegu (po prawej)

W analizach przepływu rzecznego i opisach jego parametrów posługujemy się kartezjańskim układem odniesienia (x, y, z) . Problem w tym, że są to osie prostoliniowe, a oś geometryczna rzeki nie pokrywa się z osią podłużną „x” w tym układzie. Dlatego domyślnie „rozciągamy” oś geometryczną koryta rzeki wzdłuż osi „x”, tak aby poprawnie odwzorować długości odcinków rzeki, które analizujemy. Operacje tę pokazano na ilustracji A.9.



II. A.9. Odwzorowanie w planie osi geometrycznej koryta rzeki wzdłuż osi x w kartezjańskim układzie odniesienia

W okresie wezbrań powodziowych, gdy woda podnosi swój poziom i wpływa na tereny zalewowe, na danym odcinku rzeki długość toru przepływu w korycie głównym jest większa od długości przepływu na terasach zalewowych. Pokazano to na przykładzie obwałowanego koryta rzeki Wisły w rejonie Krakowa na ilustracji A.10.



II. A.10. Zróżnicowane długości osi geometrycznej przepływu w korycie głównym Wisły i na jej terasach zalewowych zamkniętych wałami przeciwpowodziowymi. Odcinki osi koryta głównego są wyraźnie dłuższe od odcinków osi terenów zalewowych

Patrząc na ilustracje zamieszczone w tym rozdziale, nie sposób nie zauważyć, że warunki geometryczne przepływu rzecznoego są zmienne na długości. Zależą od ukształtowania przekrojów poprzecznych koryta rzecznoego, a także jego profilu podłużnego, który zawsze jest zmienny na długości. Profil ten charakteryzuje wysoka wartość spadku w strefie górskiej (produktywnej), średnia w strefie przejściowej oraz niska w strefie ujściowej (zob. il. A.1). Niezależnie od tego, na każdym odcinku rzeki spadek podłużny ulega zmianom na jego długości. To jednoznacznie wskazuje, że parametry przepływu, takie jak układ zwierciadła i prędkość przepływu, są zmienne na długości, czyli w układzie przestrzennym, niezależnie od tego, czy sama wartość przepływu Q jest zmienna na długości, czy też nie.

Pozostaje drugi rodzaj zmienności – zmienność przepływu rzecznoego w czasie. Przyjęty kartezjański układ odniesienia (il. A.9) jest dostosowany do analizy przepływu, zwanej analizą Eulera. Przyjmuje ona, że aby stwierdzić, jak zachowuje się przepływ i jego parametry, nie musimy wędrować wzdłuż rzeki z prędkością jej przepływu. Wystarczy, że wybierzemy przekrój na rzece i będziemy obserwować w czasie, co się w nim dzieje. Jest to niezwykle istotne założenie, które pozwala nam stwierdzić na podstawie obserwacji rzędnej zwierciadła w danym przekroju, czy przepływ jest ustalony w czasie (stały w czasie), czy też zmienny – nieustalony. Jeśli poziom zwierciadła nie ulega zmianie w czasie, to przepływ jest ustalony, jeśli zaś ulega zmianie – to jest nieustalony.

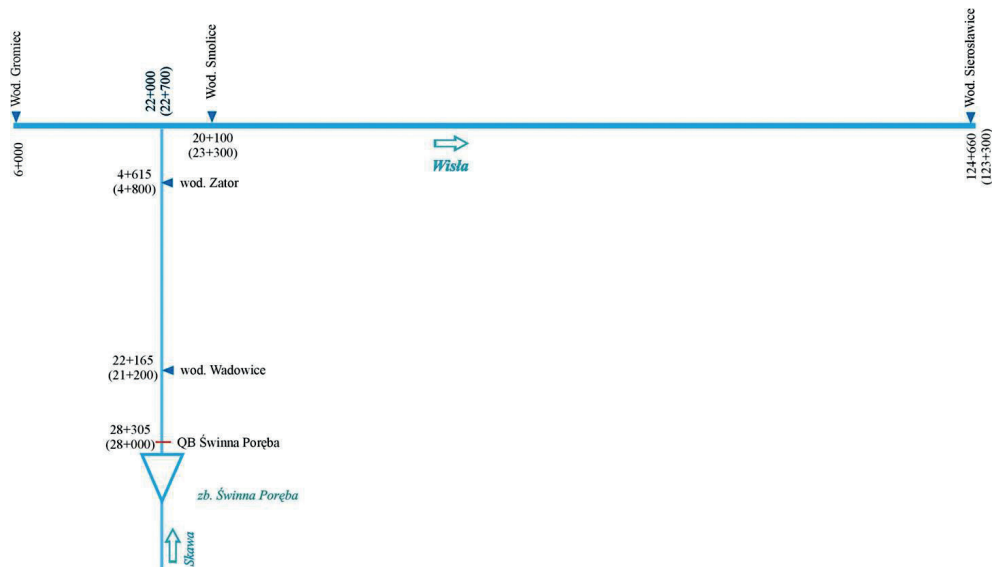
A.2. PRZEPIY W RZECZNY W WARUNKACH NORMALNYCH ORAZ W OKRESACH WEZBRAŃ

Ogólnie przepływy rzeczne mają charakter nieustalony, czyli zmienny w czasie, na co wskazuje hydrologiczna analiza zmienności dobowych wartości przepływu w danym przekroju wodowskazowym w ciągu roku. Wynika to z czasowej zmienności opadu zasilającego zlewnię rzecznoą, który generuje odpływ wody systemem rzecznoym.

Jednak w warunkach normalnych, gdy wartości przepływu rzecznoego są niższe lub oscylują wokół jego wartości średniorocznej, zmienność ta jest niewielka i nie ma cech zmienności szybkiej. Można wyodrębnić krótsze lub dłuższe okresy, w których rzeczywiste wartości przepływu oscylują wokół ich średniej, a odchylenia te są niewielkie. Wówczas możemy przyjmować, że w tych okresach przepływ jest ustalony.

Inaczej sprawa wygląda w okresach wezbrań powodziowych, wywoływanych dużymi opadami, które trwają albo krótko, albo są bardzo zmienne w czasie (zob. rozdz. 1). Wówczas zmienność w czasie przepływu w rzece w danym przekroju jest na tyle duża, że nie możemy przyjąć warunków ustalonych w okresie trwania tego wezbrania (godziny, dni, tygodnie). W okresach wezbrań powodziowych mamy do czynienia z przepływem nieustalonym, czyli zmiennym w czasie.

Aby to zilustrować, wykorzystamy odcinek systemu rzecznoego Skawa – Wisła, przedstawiony na ilustracji A.11.



II. A.11. Odcinek systemu rzeczno Skawa – Wisła z zaznaczonymi przekrojami wodowskazowymi na obu rzekach i zbiornikiem wodnym Świnna Poręba na Skawie

W 2004 r. dla tego odcinka systemu rzeczno Skawa – Wisła została wykonana analiza rozwoju powodzi na potrzeby ustalenia pojemności rezerwy powodziowej zbiornika wodnego Świnna Poręba w celu ochrony Krakowa przed powodzią.

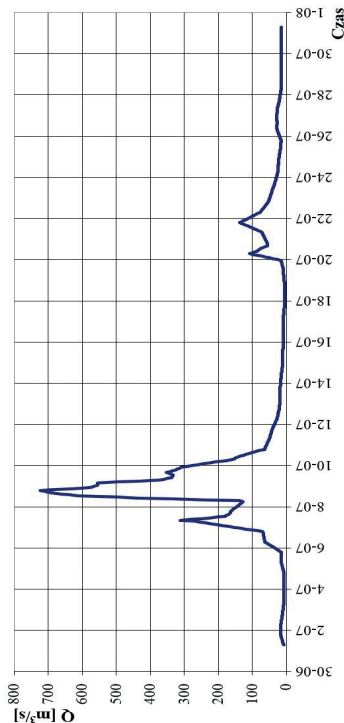
Jak przebiegała zmienność przepływów powodziowych na przykład w 1997 r. w przekrojach wodowskazowych Gromiec i Smolice na Wiśle oraz Wadowice i Zator na Skawie, czyli w przekrojach zamykających obszar węzły Skawa – Wisła, poniżej zbiornika wodnego Świnna Poręba, pokazano na ilustracji A.12 w postaci tzw. hydrogramów przepływu w podanych przekrojach poprzecznych rzek, zwanych wodowskazowymi.

Jeśli dokonamy wizualnej oceny tych hydrogramów na podstawie zmian, jakie Skawa wprowadziła na odcinku Gromiec – Smolice na Wiśle, to zauważymy, że:

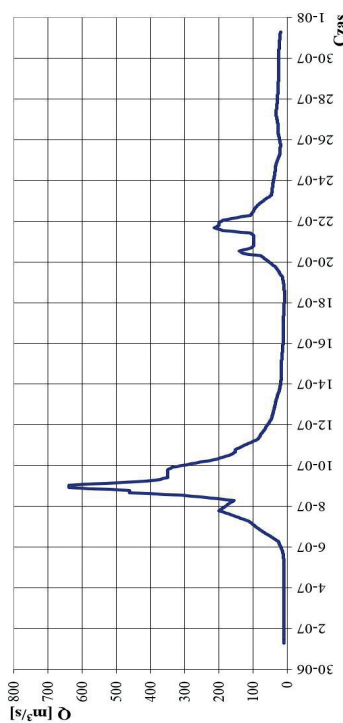
- kulminacja przepływu w przekroju Gromiec wynosi ok. $1200 \text{ m}^3/\text{s}$, a w przekroju Smolice wzrosła do wartości $1700 \text{ m}^3/\text{s}$, pomimo że w przekroju Zator kulminacja przepływu na Skawie sięgnęła $640 \text{ m}^3/\text{s}$, co jest wartością wyższą niż wzrost o $500 \text{ m}^3/\text{s}$ na odcinku Gromiec – Smolice,
- przy transformacji fali powodziowej na Skawie od przekroju Wadowice do przekroju Zator, pomimo znacznego przyrostu zlewni, kulminacja fali powodziowej nie wzrosła, lecz obniżyła się o ok. $60\text{-}70 \text{ m}^3/\text{s}$.

Aby wytłumaczyć takie cechy rozwoju powodzi, dodatkowo przy dopływach bocznych, które na pewno występują, bo pochodzą od spływów ze zlewni bezpośrednio zasilającej obie rzeki, musimy przybliżyć pojęcie nieustaloności przepływów

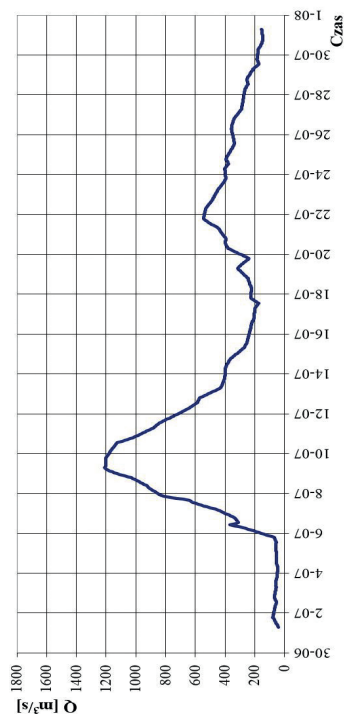
Wodowskaz Wadowice na Skawie (km 21.2) - wezbranie 1997



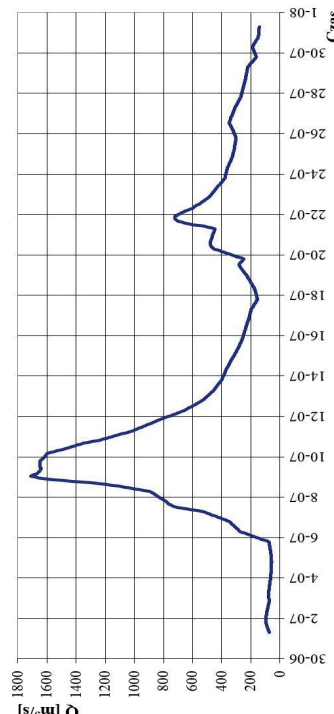
Wodowskaz Zator na Skawie (km 4.8) - wezbranie 1997



Wodowskaz Gromiec na Wiśle (km 6.0) - wezbranie 1997



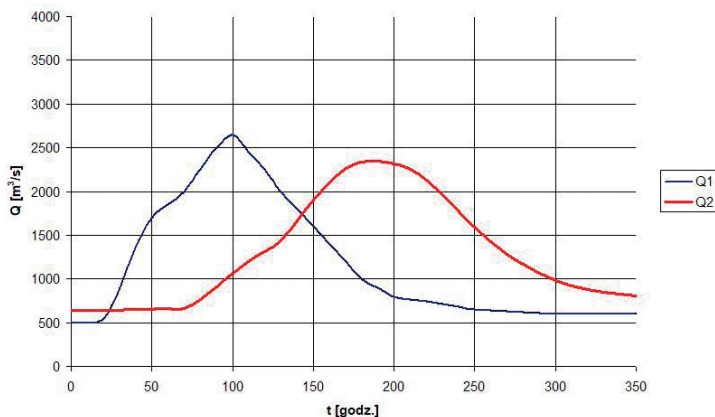
Wodowskaz Smolice na Wiśle (km 23.3) - wezbranie 1997



II. A.12. Hydrogramy przepływu powodziowego z 1997 r. w przekrojach wodowskazowych Wisły i Skawy. Wykresy reprezentują zamykające dopływy Skawy wodowskazy Gromiec i Smolice (po lewej); hydrogramy ukazują przepływ powodziowy z 1997 r. w przekrojach Wadowice i Zator na Skawie (po prawej)

powodziowych przez analizę transformacji wezbrań, zarówno na odcinku rzeki, pomiędzy dwoma przekrojami, jak i na obszarze węzłowym, w warunkach różnic czasowych „dobiegu” fali powodziowej do węzła od strony rzeki głównej i jej dopływu.

Na ilustracji A.13 pokazano, jak przebiega rozwój powodzi, czyli jak zmieniają się (transformują) hydrogramy przepływu na odcinku rzeki, która ma zasilanie boczne ze zlewni bezpośredniej przyległej do rzeki (jak pokazano na il. A.3). Takie zasilanie powoduje wzrost objętości fali powodziowej, ale nie jest to przyrost znaczący.



II. A.13. Transformacja fali wezbraniowej (powodziowej) na odcinku rzeki przy braku dopływu bocznego

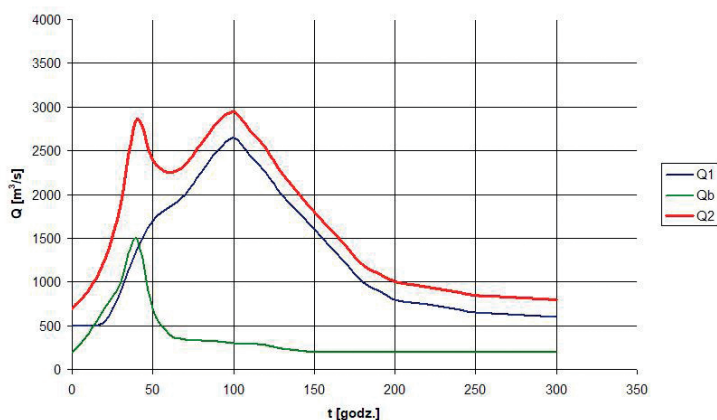
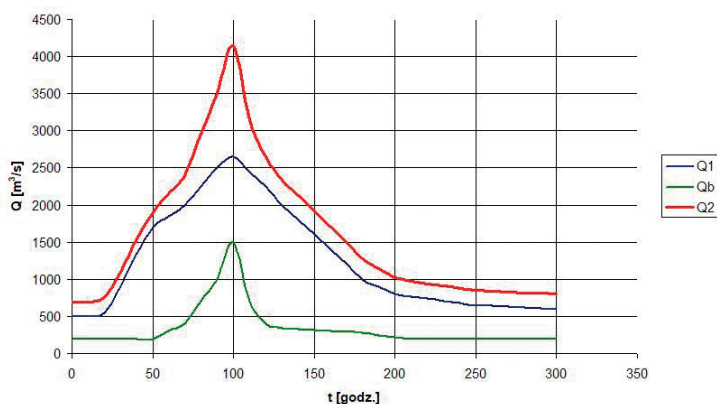
Jak widać, hydrogram wyjściowy w przekroju x_1 , oznaczony tutaj jako Q_1 (zmienny w czasie), jest znacząco różny od hydrogramu Q_2 (zmiennego w czasie), który występuje w przekroju x_2 , zamykającym ten odcinek rzeki. Tak jest na każdym odcinku, niezależnie od jego długości. Zmieniają się tylko różnice czasowe dzielące kulminacje obydwu tych hydrogramów. Przyczynami tych zmian są:

- **spłaszczenie fali**, widoczne w różnicy (obniżeniu) wartości jej kulminacji, występujące na skutek retencji korytowej rzeki, która w czasie wezbrania wypełnia swoje koryto zalewowe i zatrzymuje część objętości fali wezbraniowej na tym odcinku rzeki, a następnie, w trakcie obniżania przepływów i poziomu zwierciadła wody, „oddaje” tę zatrzymaną objętość wody z pewnym opóźnieniem,
- **opóźnienie fali**, widoczne jako przesunięcie czasowe kulminacji fali $Q_2(t)$, występujące na skutek skończonej prędkości średniej wody, a co za tym idzie również prędkości przesuwania się całej fali; zatem pokonanie przez falę i jej kulminację odcinka rzeki wymaga czasu – stąd opóźnienie,
- **zmiana objętości fali**, czyli wzrost objętości fali, występująca na skutek dopływu ze zlewni różnicowej; objętość fali to całka $Q(t)$ po czasie, czyli powierzchnia pod krzywą hydrogramu fali.

Są to podstawowe zasady transformacji fali wezbraniowej (powodziowej) na długości rzeki. To jest właśnie ruch nieustalony. Jest on sam w sobie reprezentowany przez zmienność przepływu w czasie w danym przekroju poprzecznym rzeki w postaci hydrogramu przepływu, ale jego istotą jest omówiona powyżej zmienność czasowo-przestrzenna na długości rzeki.

Z kolei na ilustracji A.14 zaprezentowano, jakie różnice w superpozycji hydrogramów przepływów mogą zachodzić przy różnych czasach „dobiegu” fal powodziowych do węzła łączącego dwie rzeki.

Ilustracja A.14 pokazuje, że wyniki superpozycji fal powodziowych w obszarze węzłowym są zależne od czasu przesunięcia kulminacji fali na rzece głównej i na jej dopływie.



II. A.14. Superpozycja hydrogramów dopływu do węzła łączącego dwie rzeki: hydrogramu dopływu rzeki głównej (Q_1) i jej dopływu skupionego (Q_b) oraz efekt superpozycji – hydrogram wynikowy w przekroju rzeki poniżej węzła (Q_2). Wykres górny pokazuje sytuację, gdy czasy kulminacji obydwu hydrogramów dopływu pokrywają się. Wykres dolny pokazuje sytuację, gdy czas kulminacji hydrogramu dopływu znacznie wyprzedza kulminację na rzece głównej

Jak widać, nawet przy znacznie niższej kulminacji dopływu do rzeki głównej różnica wartości kulminacji fali wynikowej poniżej węzła może sięgać kilkuset metrów sześciennych (np. na górnej Wiśle). To ważna cecha systemów rzecznych zasilanych opadami zmiennymi w czasie i przestrzeni w okresach powodziowych. W dorzeczu górnej Wisły przesunięcia kulminacji fal powodziowych są bardzo zróżnicowane, od kilku do kilkudziesięciu godzin, działając jako opóźnienie lub wyprzedzenie kulminacji na odbiorniku tego dopływu.

A.3. PARAMETRIZACJA PRZEPŁYWU RZECZNEGO NA POTRZEBY OCENY ZASIĘGU ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Po wstępnej charakterystyce przepływów rzecznych i ich cech w okresach wezbrań powodziowych, możemy przystąpić do parametryzacji tego przepływu w zakresie niezbędnym do zrozumienia oceny zasięgu zagrożenia powodziowego.

Dwa podstawowe parametry przepływu, wykorzystywane w analizie zagrożenia powodziowego, to chwilowa wartość objętości przepływu Q [m^3/s] oraz odpowiadająca jej rzędna zwierciadła Z [m], określone w danym przekroju poprzecznym.

Rzędna zwierciadła wody Z jest czasami zastępowana głębokością wody (przepływu) h [m] lub hydrologicznym stanem wody H [cm]. Wielkości te można wzajemnie ze sobą powiązać. Jeśli odwołamy się do pionowego profilu w przekroju poprzecznym (il. A.15) i uznamy, że jest to przekrój wodowskazowy, to zależność ta jest następująca:

$$Z = Z_{\text{dna}} + h$$

$$Z = Z_{\text{zera wodowskazu}} + H/100$$

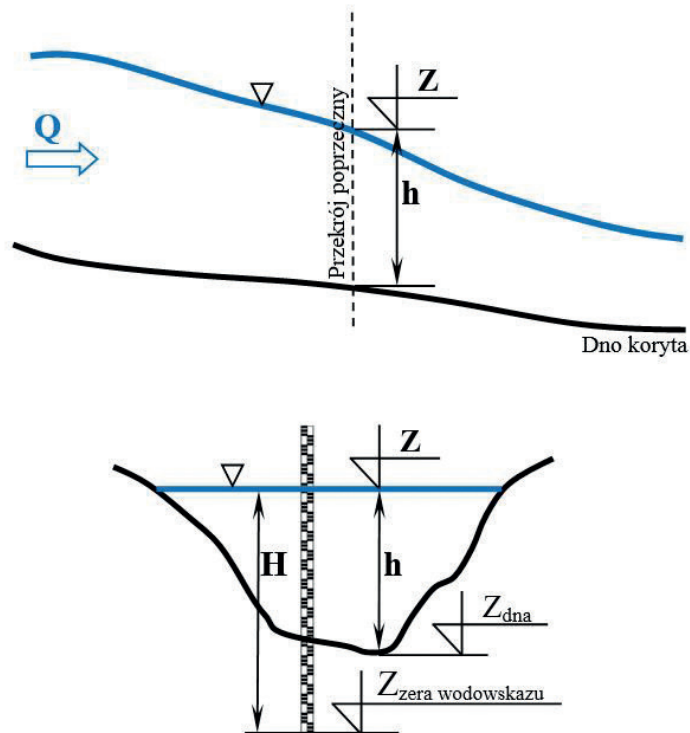
Rzędna dna zmienia się bardzo wolno, a jej zmiany liczone są w latach, ponieważ koryto rzeki ulega zmianom, ale są one znacznie wolniejsze niż przebieg zmienności przepływu Q i rzędnej Z . Dlatego też w analizach zagrożenia powodziowego nie uwzględnia się zmian rzędnych dna koryta.

Głębokość przepływu h jest liczona od najniższego punktu dna do poziomu zwierciadła.

Stan wody H jest wielkością hydrologiczną, mierzoną na łacie wodowskazowej lub limnigraficznie, i oznacza wielkość wzniesienia zwierciadła wody Z ponad poziom zwany poziomem zera wodowskazu, który jest podstawową wielkością odniesienia w każdym przekroju wodowskazowym rzeki.

W hydraulicznych analizach zagrożenia powodziowego parametry hydrologiczne stanowią bazę danych wejściowych, określonych w przekrojach wodowskazowych. Dotyczy to przede wszystkim wartości przepływów wysokich:

- charakterystycznych, typu WWQ i SWQ, czyli największej wartości przepływu w danym wieloleciu i średniej wartości z największych rocznych w tymże wieloleciu,



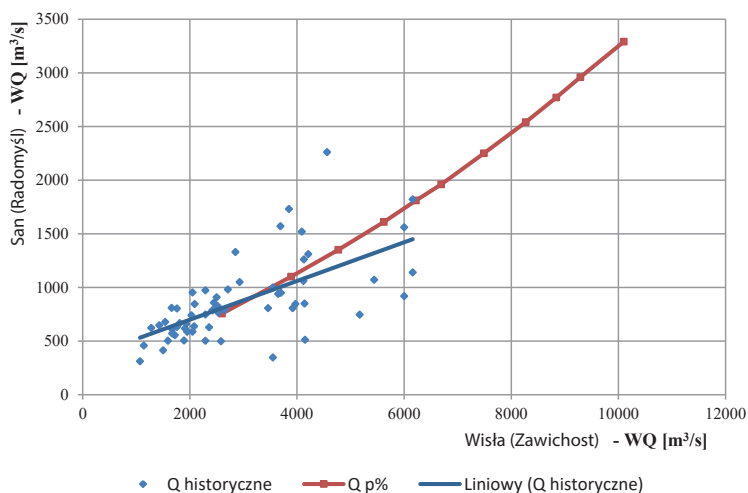
II. A.15. Profil podłużny przepływu rzeczneego i jego przekrój poprzeczny

- prawdopodobnych, o określonym prawdopodobieństwie występowania, takich jak $Q_{10\%}$, $Q_{1\%}$, $Q_{0,5\%}$, $Q_{0,2\%}$ itd.

Dlatego w tym miejscu należy się również odnieść do analizy superpozycji kulminacji fal wezbraniowych na obszarach węzłowych rzek, zasygnalizowanej w rozdziale A.2. To prawda, że wzajemne przesunięcia czasowe transformacji fal wezbraniowych utrudniają określenie wartości kulminacji przepływu w przekroju zamykającym połączenie dwóch rzek, jednak w hydrologii konieczne jest wyznaczanie wartości przepływów prawdopodobnych w każdym z trzech przekrojów zamykających połączenie rzek (jak na il. A.4). W tej sytuacji:

- hydrologicznie, na podstawie wyznaczanych wartości przepływów maksymalnych rocznych, określa się w każdym przekroju wodowskazowym ciągi wartości przepływów wysokich prawdopodobnych, na podstawie których określone są pojedyncze, potrzebne ich wielkości,
- na potrzeby hydrauliczne wyznacza się związki hydrologiczne przepływów maksymalnych na obszarach węzłowych, określające zależności wartości tych przepływów na rzece głównej i jej dopływie (jak to pokazano na il. A.16 na przykładzie połączenia rzeki San z Wisłą w rejonie Zawichostu, na granicy dorzecza górnej Wisły).

Jak pokazuje ilustracja A.16, związek przepływów wysokich w odcinku ujściowym Sanu do Wisły i Wisły poniżej ujścia Sanu nie jest jednoznaczny i na pewno nie jest liniowy. Jednak na potrzeby oceny zagrożenia powodziowego musimy wyznaczyć dominujący związek pomiędzy najwyższymi przepływami oraz dokonać ekstrapolacji najwyższych objętości przepływów w celu określenia ich wartości prawdopodobnych.



II. A.16. Porównanie i związek przepływów wysokich i prawdopodobnych dla wodowskazów Zawichost na Wiśle i Radomyśl na Sanie

Od strony hydraulicznej analizy zagrożenia powodziowego, kluczowe znaczenie ma zależność wiążąca chwilową wartość objętości przepływu Q i jego średniej prędkości przepływu v z rzędną zwierciadła wody Z w danym przekroju poprzecznym rzeki.

Zależność ta jest uwarunkowana parametrami geometrycznymi przekroju poprzecznego rzeki i podłużnym profilem jej dna i zwierciadła wody (il. A.17), a także uwzględnia opory przepływu, jakie są związane ze strukturą i pokryciem łóżyska rzeki (il. A.18).

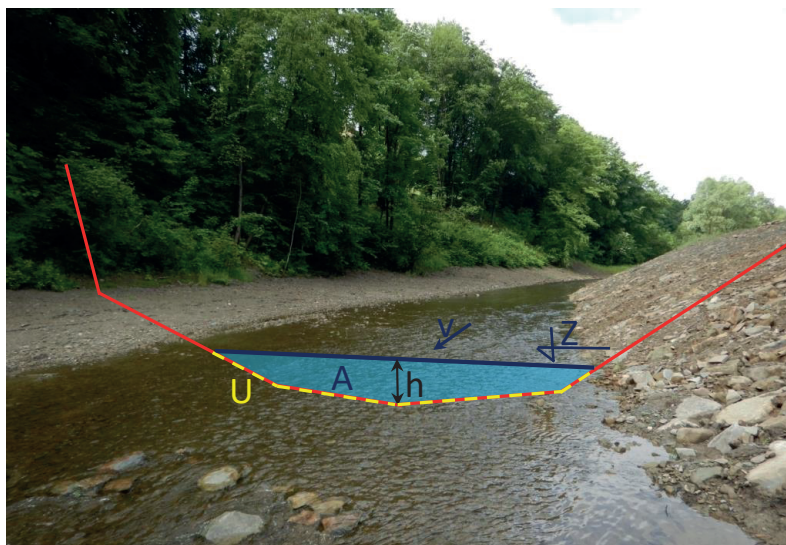
Ogólnie, podstawą jest zależność prędkości przepływu od parametrów geometrycznych przekroju poprzecznego rzeki i parametrów opisujących opory przepływu. Jest to zależność nazywana równaniem (wzorem) Manninga i ma następującą postać:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}}$$

gdzie:

- v – średnia prędkość przepływu [m/s],
- n – współczynnik Manninga [s/m^{1/3}], który odwzorowuje opory przepływu związane ze strukturą i pokryciem łóżyska rzeki (il. A.7 i A.18),

- R – tzw. promień hydrauliczny [m], liczony jako stosunek powierzchni przekroju zwilżonego w przekroju poprzecznym (A) do obwodu zwilżonego w tym przekroju (U), czyli linii styku wody z łóżyskiem rzeki (il. A.17),
- S_f – wielkość bezwymiarowa, określająca tzw. spadek tarcia, czyli chwilowy spadek siły oporu równoważającej siłę motoryczną ruchu dla danej rzędnej zwierciadła wody Z przy danej wartości objętości przepływu Q .



II. A.17. Przekrój poprzeczny do objaśnienia wzoru Manninga



II. A.18. Koryto Soły w rejonie Żywca z odsłoniętą częścią koryta głównego, częściowo piaszczystego, a częściowo pokrytego trawą

Związek pomiędzy wartością średniej prędkości przepływu oraz wartością natężenia przepływu, zwanej w skrócie przepływem, to:

$$Q = A \cdot v$$

gdzie: A – pole przekroju zwilżonego [m^2] (il. A.17).

Koryto wielkiej wody jest wieloczęściowe, złożone z koryta głównego i części zalewowych. W takim korycie każda z tych części musi być odrębnie sparametryzowana w zakresie prędkości przepływu ze względu na różnice w dynamice przepływu w tych częściach. Czyli dla każdej z tych części odrębnie liczymy prędkość przepływu, w zależności od jej parametrów geometrycznych i oporu przepływu, przyjmując stały dla całego przekroju spadek tarcia S_f .

Jest to tzw. wielodzielne koryto rzeczne, którego typowy, trzyczęściowy schemat pokazano na ilustracji A.19. W takim przypadku objętość przepływu liczona jest następująco:

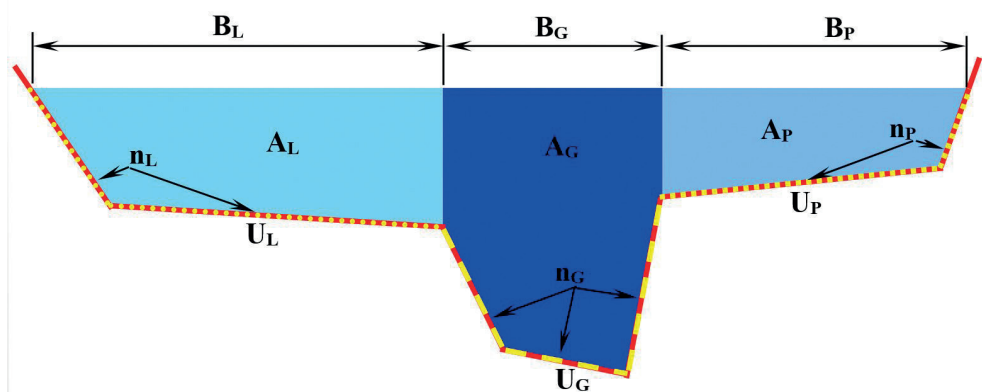
$$Q = Q_G + Q_L + Q_P$$

gdzie:

$$Q_G = A_G \cdot v_G = A_G \cdot 1/n_G \cdot R_G^{2/3} \cdot S_f^{1/2},$$

$$Q_L = A_L \cdot v_L = A_L \cdot 1/n_L \cdot R_L^{2/3} \cdot S_f^{1/2},$$

$$Q_P = A_P \cdot v_P = A_P \cdot 1/n_P \cdot R_P^{2/3} \cdot S_f^{1/2}.$$



A.19. Rysunek koryta wielodzielnego (trzy części) z zaznaczeniem odrębnych A , U , n oraz szerokości zwierciadła

Modelowanie rozwoju powodzi wykorzystuje te podstawowe zależności, ale wymaga zastosowania opisu nieustalonego przepływu wody na określonym odcinku

rzeki w okresie trwania i transformacji na długości fali wezbraniowej. Wymaga zatem opisu tego przepływu w układzie czasowo-przestrzennym. Stosuje się tutaj opis za pomocą tzw. równań Saint Venanta, których postać przedstawiono poniżej.

Równania Saint Venanta ruchu nieustalonego na długości pojedynczego koryta rzeczno (doliny rzeki) obejmują dwa równania: ciągłości i dynamiki przepływu.

Równanie ciągłości przepływu:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_b$$

Równanie dynamiki przepływu:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gAS_f - gAS_0 = 0$$

gdzie:

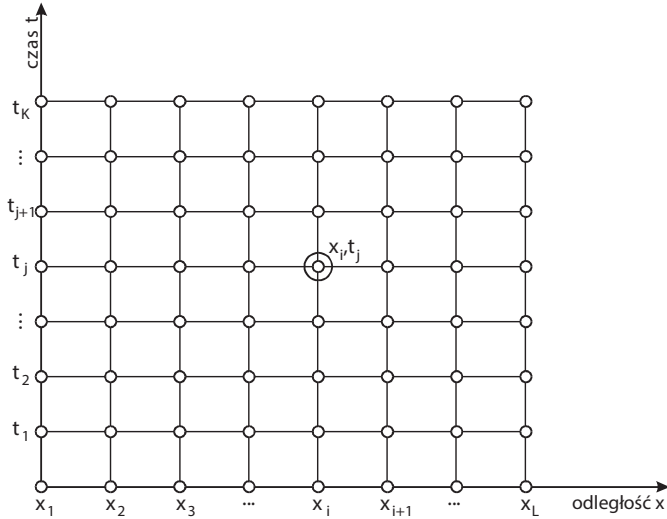
- A – powierzchnia przekroju przepływu [m^2],
- Q – objętość (natężenie) przepływu wody [m^3/s],
- Z – rzędna zwierciadła w przekroju poprzecznym rzeki [m],
- S_f – spadek tarcia; jego wartość jest określana na podstawie formuły Manninga,
- x – współrzędna podłużna cieką [m],
- t – czas [s],
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
- q_b – dopływ boczny rozłożony na całej długości rozpatrywanego odcinka, uwzględniający również dopływ skupiony niekontrolowany [m^2/s].

Równania te są rozwiązywane numerycznie na odcinku rzeki o długości L i w przedziale czasu, odpowiadającym czasowi trwania wezbrania powodziowego. Reprezentuje to siatka numeryczna pokazana na ilustracji A.20. Poszukuje się wartości Q i Z w wyodrębnionych punktach siatki, opartych na przekrojach poprzecznych rzeki. Obliczone wartości Q i Z w węzłach tej siatki budują całe rozwiązanie przy odpowiednich warunkach: początkowym (dla $t = 0$) i brzegowych w przekrojach X_1 i X_L .

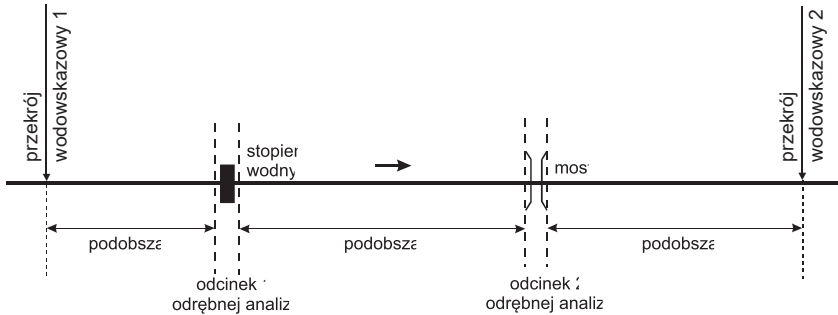
Do zasięgu zalewu wykorzystuje się obwiednię maksymalnych rzędnych zwierciadła wody w celu wyznaczenia poziomu zwierciadła na długości odcinka rzeki, tak aby uzyskać przecięcie tego zwierciadła z układem topograficznym terenu. Pokazano to na ilustracjach 3.10 i 3.11 w rozdziale 3.

Przedmiotem tego Aneksu nie jest opis szczegółów i warunków tego rozwiązania, a pokazano jedynie jego podstawy fizyczne i matematyczne.

Omówione wyżej rozwiązanie rozwoju powodzi odniesione jest do odcinka rzeki, na którym mogą być zlokalizowane obiekty hydrotechniczne i mosty, zaburzające ciągłość tego przepływu. Pokazuje to schematycznie ilustracja A.21.



II. A.20. Numeryczny obszar rozwiązania równań Saint Venanta w odniesieniu do analizy rozwoju powodzi na odcinku rzeki o długości L . Na rysunku wyróżniono obszar węzłowy w celu podkreślenia, że rozwiązania poszukujemy tylko w węzłach siatki, czyli w wyodrębnionych (pomierzonych) przekrojach poprzecznych



II. A.21. Odcinek rzeki zabudowanej z wyodrębnionymi podobszarami obliczeniowymi dla symulacji rozwoju powodzi

W sytuacji wystąpienia obiektów hydrotechnicznych, takich jak stopnie czy progi wodne, stosowane są określone zasady hydrauliczne w celu zachowania ciągłości rozwiązania rozwoju powodzi, w zależności od konstrukcji obiektu.

Podobnie jest w przypadku obiektów mostowych. Różnica polega na tym, że obiekty hydrotechniczne służą gospodarce wodnej i są lokalizowane w celu realizacji określonych zadań, często także w zakresie ograniczenia szkód powodziowych, natomiast mosty są obiektami infrastruktury drogowej, kołowej i kolejowej, przecinającej szlak wodny.

Doświadczenie pokazuje, że w naszym kraju mosty na różnych rzekach mają bardzo zróżnicowane przepustowości ich światła w stosunku do wymagań dla wysokich wartości objętości przepływu rzeki. Pomimo dużego postępu, znaczna część tych obiektów podnosi zagrożenie powodziowe i jednocześnie, z tego powodu, sama ulega uszkodzeniu lub zniszczeniu. Dlatego w ostatniej części Aneksu pokazano wpływ zabudowy mostowej na warunki przepływów wysokich.

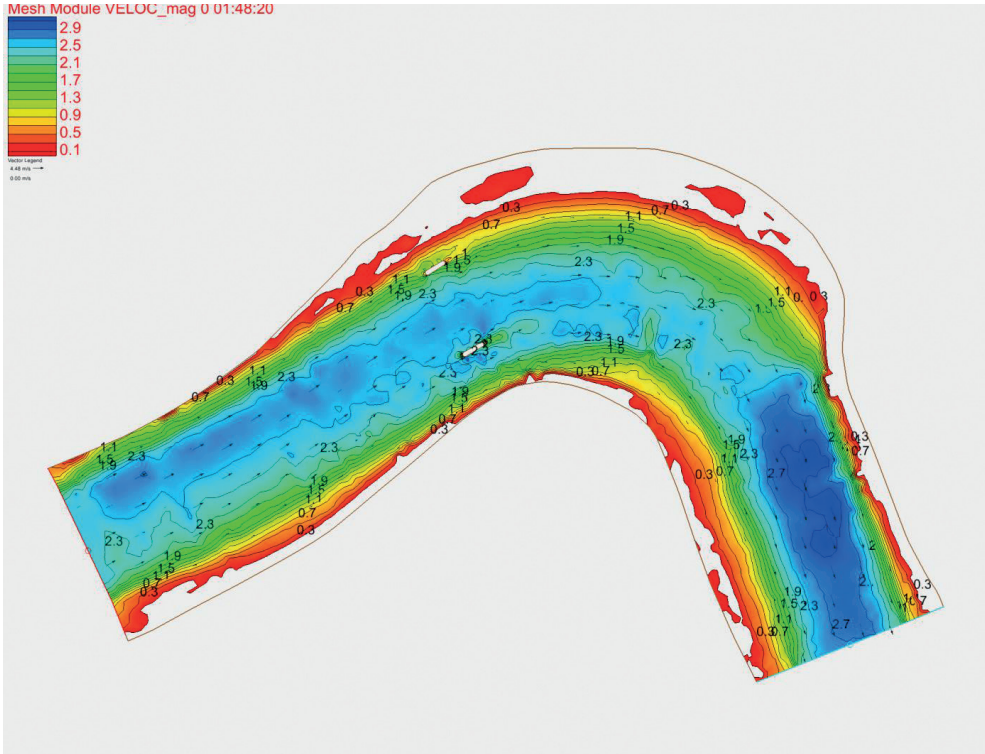
Kończąc tę część, przytoczono przykłady konieczności zastosowania symulacji dwuwymiarowej w planie symulacji rozwoju powodzi.

Symulacja ta, zwana modelowaniem dwuwymiarowym w planie, oparta jest na równaniach Saint Venanta, które uwzględniają współrzędne x i y . Oznacza to, że nie uwzględniamy jedynie głównego kierunku prędkości wody wzdłuż osi rzeki, ale w prostokątnym układzie (x, y) odnosimy się do wektora prędkości w zasięgu zalewu, jeśli obie składowe tego wektora prędkości, podłużna i poprzeczna, są znaczące co do wielkości.

Obecnie dotyczy to niewielu przypadków, zwłaszcza na obszarach miejskich, ale jest to tendencja rozwojowa. Na ilustracjach A.22-A.24 zaprezentowano taki właśnie przypadek. Dotyczy on zwartego koryta wielkiej wody Wisły w Krakowie pod Wawelem, w rejonie mostów Dębnickiego i Grunwaldzkiego. Tutaj, jak wskazano w rozdziale 2, występuje ostre zakole rzeki, a szerokość koryta wielkiej wody nie przekracza 200 m (il. A.22).



II. A.22. Zakole Wisły w Krakowie pod Wawelem

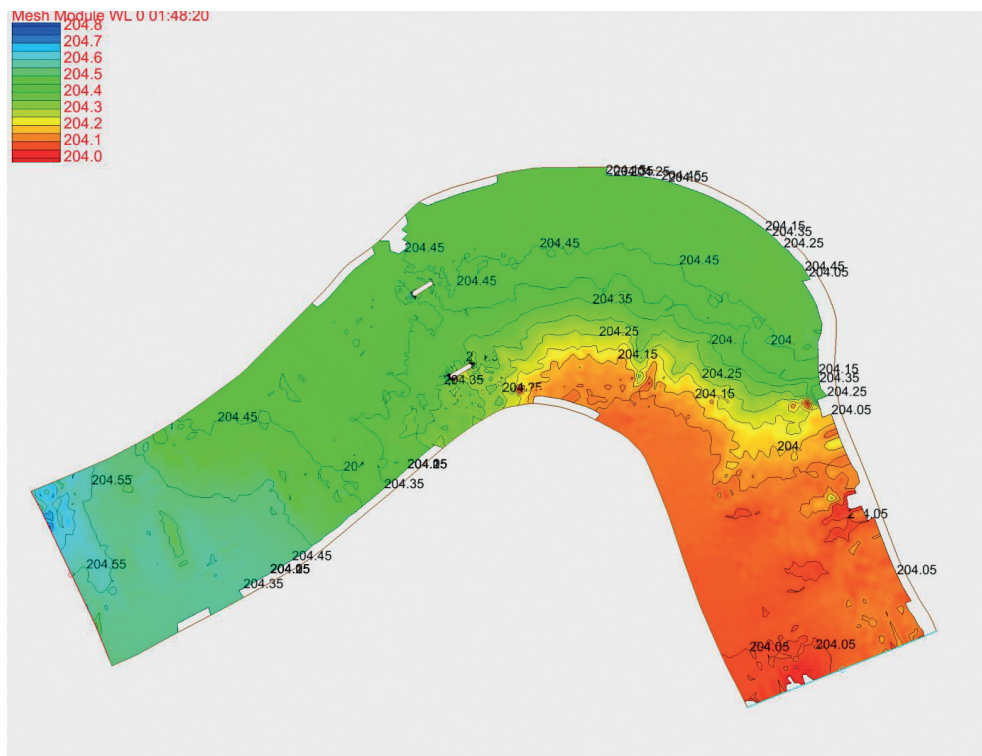


II. A.23. Pole prędkości przepływu stuletniego ($Q = 2300 \text{ m}^3/\text{s}$) w zakolu Wisły w Krakowie pod Wawelem

Zawirowanie, jakie występuje w tej części przepływu, powoduje bardzo zróżnicowane prędkości przepływu, które oddziałują na dno i brzegi uregulowanego koryta Wisły. Na ilustracji A.23 pokazano pole prędkości przepływu na tym obszarze, uzyskane dla wody stuletniej na bazie modelowania dwuwymiarowego.

To pole prędkości wraz z poprzecznym i nierównomiernym układem zwierciadła (il. A.24) powoduje takie oddziaływanie na koryto Wisły, które prowadzi do uszkodzenia bulwarów niskich, a w konsekwencji do technicznego zagrożenia w czasie powodzi już w warunkach przepływu stuletniego.

Jak widać na ilustracjach A.23 i A.24, zróżnicowanie wartości prędkości przepływu, a także lokalnych spadków zwierciadła wody są znaczące. Tuż za zakolem pojawia się rynna dynamiczna o prędkościach przekraczających $2,3 \text{ m/s}$, której towarzyszy lokalne obniżenie spadku zwierciadła wody, charakterystyczne dla silnych erozyjnych zmian dennych w samym korycie rzeki, co powoduje podmywanie bulwarów niskich, utrzymujących koryto główne Wisły w śródmieściu Krakowa.



II. A.24. Układ zwierciadła wody dla przepływu stuletniego ($Q = 2300 \text{ m}^3/\text{s}$) w zakolu Wisły w Krakowie pod Wawelem

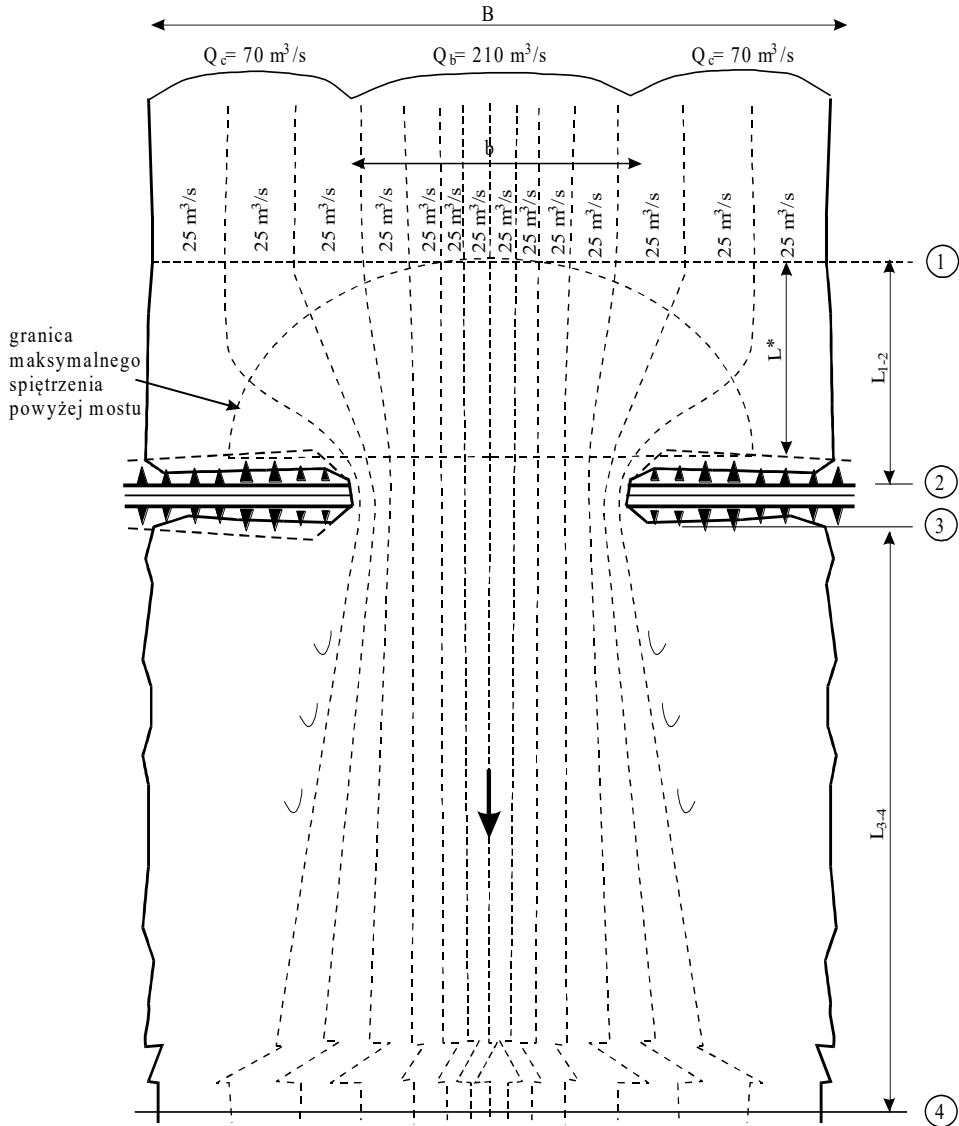
A.4. WPŁYW ZABUDOWY HYDROTECHNICZNEJ I MOSTOWEJ NA DYNAMIKĘ I ELEWACJĘ WÓD WEZBRANIOWYCH

Wpływ zabudowy mostowej na przepływ rzeczny jest na ogół istotny, a jego przyczyny pokazano na ilustracjach A.25 i A.26.

Ilustracja A.25 pokazuje widok z góry, w planie, i dotyczy strumienia rzeczno-gawężonego przez przyczółki mostowe, jeśli wkraczą one na obszar wysokiego przepływu.

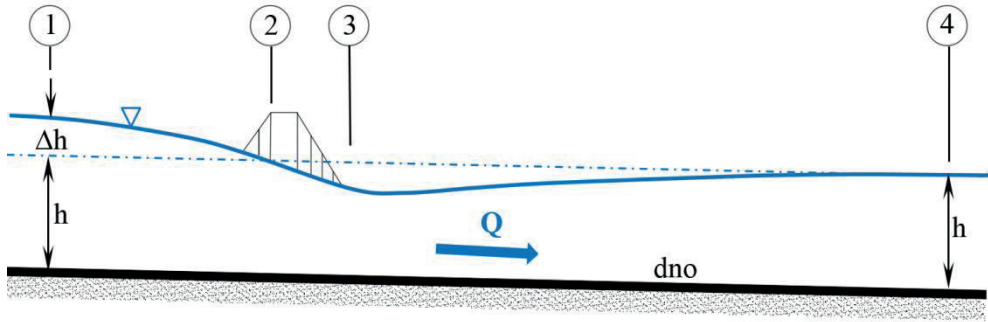
Jak pokazuje ilustracja A.25, gwałtowna kontrakcja górnego strumienia na stosunkowo krótkim dystansie pomiędzy przekrojami 1 i 2 musi spowodować nadpiętrzenie strumienia powyżej mostu. Z kolei dyfuzja strumienia poniżej konstrukcji mostowej powoduje deformacje strumienia i powolne dochodzenie do normalnego układu zwierciadła. Efekty te pokazano na ilustracji A.26 w postaci profilu podłużnego w osi rzeki.

Jak widać na ilustracji A.26, w przekroju nr 1 pojawia się wyraźne nadpiętrzenie wody w postaci wzrostu rzędnej zwierciadła o wartość Δh .



II. A.25. Przykładowa deformacja strumienia przez przyczółki mostowe – widok w planie. Górna część prezentuje kontrakcję strumienia napływającego i podzielonego na przepływy w korycie głównym i na terasach zalewowych. Dolna część ukazuje dyfuzję rozprężającą strumień poniżej mostu, na znacznie większej długości dochodzenia do normalnej dynamiki przepływu

W warunkach polskich nadpiętrzenia te sięgają czasem nawet wartości 1-2 m, ponieważ mamy do czynienia nie tylko z zawężeniem szerokości przez przyczółki mostowe, ale również przez filary, a wysokość konstrukcji mostu jest często niższa od poziomu zwierciadła wód wysokich, co pokazano na ilustracji A.27.



II. A.26. Profil podłużny koryta rzeki w sąsiedztwie przekroju mostowego, w osi rzeki, odpowiadający deformacji strumienia przepływu z il. A.25



II. A.27. Przykłady konstrukcji mostowych o zbyt małym świetle poziomym i pionowym

Sytuacja ta stanowi jeden z najpoważniejszych problemów zagrożenia powodziowego w naszym kraju na rzekach mniejszych, zwłaszcza w przypadku mostów w ciągu dróg lokalnych.

Z punktu widzenia planowania przestrzennego jest to ważne zagadnienie, wiążące gospodarkę wodną z planowaniem i projektowaniem infrastruktury drogowej.

eISBN 978-83-66531-76-5



**Cracow University
of Technology**