

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

### STANDARDOWE METODY PRZECIWDZIAŁANIA SKUTKOM POWODZI W OBSZARZE WSPARCIA

#### OCHRONA PRZECIWPOWODZIOWA A PRZEPISY PRAWA

Powodzie wywołują jedne z największych strat spośród występujących w naszym kraju sytuacji kryzysowych. Za ochronę przed powodzią odpowiedzialna jest administracja rządowa oraz wszystkie szczeble samorządu terytorialnego. Ochronę przeciwpowodziową w Polsce reguluje szereg aktów prawnych oraz strategii, które mają na celu minimalizowanie skutków powodzi. Najważniejsze akty prawne oraz dokumenty dotyczące tego zagadnienia to:

**Ustawa *Prawo wodne*** (z dnia 20 lipca 2017 r., Dz. U. 2017 poz. 1566) stanowi podstawowy akt prawny regulujący zarządzanie wodami w Polsce, w tym kwestie związane z ochroną przed powodzią. Ustawa ta m.in. **definiuje ochronę przeciwpowodziową** jako działania mające na celu minimalizację skutków powodzi, wprowadza zasady zarządzania ryzykiem powodziowym, określa zadania i kompetencje organów odpowiedzialnych za monitorowanie i przeciwdziałanie powodziom, **określa zasady budowy i utrzymania infrastruktury przeciwpowodziowej oraz wprowadza zakazy i ograniczenia na terenach objętych wysokim ryzykiem powodzi.**

**Ustawa *Prawo ochrony środowiska*** (z dnia 27 kwietnia 2001 r., Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 627) zawiera przepisy dotyczące ochrony środowiska, które wpływają na działania związane z ochroną przed powodzią. Przykładem mogą być regulacje dotyczące ochrony wód oraz obszarów narażonych na zalanie.

**Ustawa o samorządzie gminnym** (z dnia 8 marca 1990 r.; Dz. U. z 2024 r. poz. 1465, 1572) wskazuje, że do zadań własnych gminy należy **ochrona przeciwpożarowa i przeciwpowodziowa, w tym wyposażenie i utrzymanie gminnego magazynu przeciwpowodziowego.**

**Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym** (z dnia 27 marca 2003 r.; Dz. U. z 2024 r. poz. 1130, 1907, 1940) wskazuje na konieczność uwzględniania obszarów szczególnie zagrożonych powodzią w planowaniu przestrzennym, w celu ograniczania skutków tego zjawiska na obszarach zagospodarowanych.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

**Ustawa o zarządzaniu kryzysowym** (z dnia 26 kwietnia 2007 r.; Dz.U. z 2022 r., poz. 2185) reguluje działania w zakresie zapobiegania, przygotowania, reagowania i odbudowy po klęskach żywiołowych, określa rolę Rządowego Centrum Bezpieczeństwa (RCB) w ostrzeganiu przed powodzią oraz zobowiązuje administrację do opracowywania **planów zarządzania kryzysowego**, obejmujących scenariusze powodziowe.

**Dyrektywa unijna (2007/60/WE) w sprawie oceny i zarządzania ryzykiem powodziowym** nakłada na państwa członkowskie Unii Europejskiej obowiązek opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym oraz przeprowadzanie oceny ryzyka powodziowego.

Współpraca pomiędzy różnymi instytucjami, takimi jak administracja rządowa, samorządowa oraz organizacje pozarządowe, jest konieczna do skutecznego zarządzania ryzykiem powodziowym. Niezbędna jest do tego także wiedza z zakresu sposobów ograniczania negatywnych skutków ekstremalnych zjawisk, do których należą powodzie. Niniejsze opracowanie ma za zadanie dostarczyć porcję informacji z zakresu metod wspomagających ochronę ludzi i mienia przed niszczącą działalnością wód powodziowych. Wiedza ta może być przydatna zarówno dla samorządowców, jak i poszczególnych mieszkańców miast, gmin i powiatów, zamieszkałych na terenach zagrożonych.

### O OPRACOWANIU SŁÓW KILKA

Opracowanie dotyczy przeglądu metod stosowanych w ograniczaniu skutków powodzi, które są stosowane w samorządach położonych w obszarze wsparcia zarówno na terenie Polski, jak i Słowacji. W tym celu wykorzystano dostępną literaturę, strony internetowe gmin i powiatów oraz różnych instytucji, w tym badawczych. Korzystano także z wiedzy pracowników samorządowych i naukowych prowadzących obserwacje lub badania na terenach objętych wsparciem projektu. Zgodnie z warunkami określonymi w zamówieniu, opracowanie zawiera: opis techniczny metody przeciwdziałania skutkom powodzi wraz założeniami teoretycznymi, opis wad i zalet każdej metody, ocenę przydatności zastosowania metody oraz przykłady zastosowania tych metod z powiatów lub okresów położonych w obszarze wsparcia zarówno polskich, jak i słowackich.

Powiaty położone w obszarze wsparcia projektu położone w Polsce to: w województwie śląskim: pszczyński, cieszyński, bielski, miasto na prawach powiatu Bielsko-Biała, żywiecki; w województwie małopolskim: olkuski, chrzanowski, oświęcimski, wadowicki, suski, myślenicki, tatrzański, nowotarski, limanowski, nowosądecki, miasto na prawach powiatu Nowy Sącz, gorlicki; w województwie podkarpackim: bieszczadzki, leski, sanocki, brzozowski, krośnieński, miasto na

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

prawach powiatu Krosno, jasielski, rzeszowski, miasto na prawach powiatu Rzeszów, przeworski, przemyski, miasto na prawach powiatu Przemyśl, jarosławski, lubaczowski. Powiaty położone a Słowacji: w Żylińskim Kraju Samorządowym: Čadca, Kysucké Nové Mesto, Bytča, Žilina, Martin, Turčianske Teplice, Ružomberok, Dolný Kubín, Námestovo, Tvrdošín, Liptovský Mikuláš, w Preszowskim Kraju Samorządowym: Poprad, Kežmarok, Stará Ľubovňa, Levoča, Sabinov, Bardejov, Svidník, Prešov, Vranov nad Topľou, Stropkov, Medzilaborce, Humenné, Snina, w Koszyckim Kraju Samorządowym: Spišská Nová Ves).

### METODY PRZECIWDZIAŁANIA SKUTKOM POWODZI WYKORZYSTYWANE W OBSZARZE WSPARCIA PROJEKTU

Zgodnie z definicją zawartą w ustawie *Prawo wodne* (Dz. U. 2017 poz. 1566), pod pojęciem **powodzi** rozumie się czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, w szczególności wywołane przez wezbranie wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza, z wyłączeniem pokrycia przez wodę terenu wywołanego przez wezbranie wody w systemach kanalizacyjnych.

W obrębie powiatów występujących na obszarze wsparcia projektu stwierdzono wykorzystanie kilku standardowych metod mających na celu przeciwdziałanie skutkom powodzi. Poniżej przedstawiono ich charakterystykę.

#### I. Mapowanie obszarów zagrożonych wystąpieniem powodzi.

##### A. Opis techniczny metody przeciwdziałania powodziom wraz założeniami teoretycznymi

**Mapowanie terenów zagrożonych wystąpieniem powodzi** polega na wyznaczeniu obszarów narażonych na zalanie przez wody wezbraniowe. Obecnie mapowanie to wykorzystuje obok cyfrowych ortofotomap i baz danych obiektów topograficznych (BDOT) także numeryczne modele terenu (NMT) i numeryczne modele pokrycia terenu (NMPT), sporządzone na podstawie danych pomiarowych uzyskanych w drodze lotniczego skanowania laserowego (LiDAR). Realizacja projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) pozwoliła m.in. na pozyskanie precyzyjnych danych LiDAR z obszaru prawie całego terytorium kraju oraz na wykonanie modelowania

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

matematyczno-hydraulicznego transformacji wezbrań powodziowych oraz awarii obwałowań, dla wszystkich rzek objętych projektem. W efekcie powstały m.in. mapy ryzyka powodziowego (MRP) oraz mapy zagrożenia powodziowego (MZP), niezbędne w planowaniu ochrony przed skutkami zjawiska powodzi. Mapy te prezentowane są w Hydroportalu (<https://wody.isok.gov.pl/hydroportal.html>) – portalu publicznym zamieszczającym informacje dotyczące gospodarowaniem wodami na obszarze Polski. Mapę zagrożenia powodziowego oraz wstępną oceną ryzyka powodziowego zamieszczono także w Geoportalu Krajowym (<https://mapy.geoportal.gov.pl>), także w postaci usługi WMS, pozwalającej na przeglądanie map z wykorzystaniem oprogramowania GIS (Systemy Informacji Geograficznej).

**Mapy zagrożenia powodziowego (MZP)** przedstawiają obszary o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi. Są to:

- obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest niskie i wynosi raz na 500 lat (0,2%) lub na których istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia ekstremalnego;
- obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi raz na 100 lat (1%), tzw. wodą „stuletnią”;
- obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest wysokie i wynosi raz na 10 lat (10%);
- obszary obejmujące tereny narażone na zalanie w przypadku zniszczenia/ uszkodzenia wału przeciwpowodziowego/ budowli piętrzącej.

Na mapach zagrożenia powodziowego uwzględnia się także głębokość wody oraz prędkość wody i kierunki przepływu wody (dla miast wojewódzkich i miast na prawach powiatu oraz innych miast o liczbie mieszkańców przekraczającej 100 000 osób), z uwzględnieniem **stopnia zagrożenia dla ludzi i sposobu oddziaływania wody na obiekty budowlane.**

**Mapy ryzyka powodziowego (MRP)** prezentują wartości potencjalnych strat powodziowych oraz przedstawiają obiekty narażone na zalanie w przypadku wystąpienia powodzi o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia. Pozwala to na ocenę ryzyka powodziowego dla zdrowia i życia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej.

Na tych mapach uwzględniono:

- szacunkową liczbę mieszkańców, którzy mogą być dotknięci powodzią;
- budynki mieszkalne i obiekty o szczególnym znaczeniu społecznym (np. szpitale, szkoły, przedszkola, żłobki, hotele, centra handlowo-usługowe, domy pomocy społecznej, zakłady karne, areszty śledcze, jednostki Policji);
- rodzaje działalności gospodarczej wykonywanej na obszarach zagrożenia powodziowego, w postaci klas użytkowania terenu (tereny: zabudowy mieszkaniowej, przemysłowe, komunikacyjne,

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

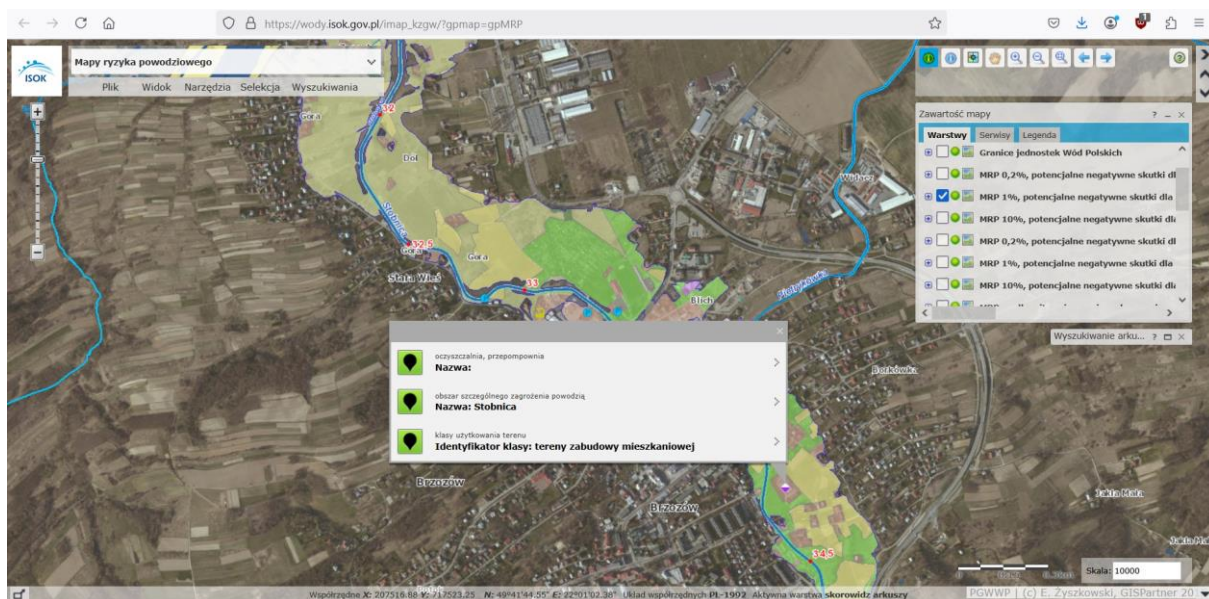
rekreacyjno-wypoczynkowe; lasy, grunty orne i uprawy trwałe, użytki zielone, wody powierzchniowe);

- obszary i obiekty dziedzictwa kulturowego;
- instalacje mogące, w razie wystąpienia powodzi, spowodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości;
- obszary chronione (ujęcia wód powierzchniowych i podziemnych, strefy ochronne ujęć wody, kąpieliska, obszary Natura 2000, parki narodowe oraz rezerwy przyrody, ogrody zoologiczne;
- potencjalne ogniska zanieczyszczeń wody w przypadku wystąpienia powodzi (tj. zakłady przemysłowe, oczyszczalnie ścieków, przepompownie ścieków, składowiska odpadów, cementarze);

Mapy zawierają także informacje o wartości potencjalnych strat dla poszczególnych klas użytkowania terenu, tj. tereny zabudowy mieszkaniowej, tereny przemysłowe, tereny komunikacyjne, lasy, tereny rekreacyjno-wypoczynkowe, grunty orne i uprawy trwałe, użytki zielone.

MRP przygotowuje się w dwóch wersjach:

- Mapa ryzyka powodziowego – potencjalne negatywne skutki dla życia i zdrowia ludzi oraz wartości potencjalnych strat powodziowych
- Mapa ryzyka powodziowego – potencjalne negatywne skutki dla środowiska, dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej (Rycina 1).



Rycina 1. Przykład mapy ryzyka powodziowego (MRP) – efekt projektu ISOK.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Mapy zagrożenia powodziowego (Mapa povodňového ohrozenia MPO) oraz mapy ryzyka powodziowego (Mapa povodňového rizika MPR) są dostępne także dla terytorium Słowacji, w geoportalu prowadzonym przez Slovenský Vodohospodársky Podnik - štátny podnik. Mapy zagrożenia powodziowego przygotowano tu według scenariuszy na maksymalne przepływy powodziowe z prawdopodobieństwem wystąpienia raz na 10 lat, 100 lat i 1000 lat.

### B. Opis wad i zalet metody

Korzystając z tej metody należy pamiętać, że nie prezentuje ona zagrożenia powodziowego w czasie rzeczywistym. Mapy są efektem obliczeń modeli hydraulicznych opracowanych w oparciu o przyjęte scenariusze powodziowe, które bazują na statystycznych danych hydrologicznych oraz informacji o ukształtowaniu terenu i pokryciu obszarów zalewowych. Nie przedstawiają także zasięgów powodzi historycznych, lecz obszary o prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi o danych rozmiarach (tj. raz na 10 lat, raz na 100 lat, raz na 500 lat). Z analizy obszarów zagrożonych różnym poziomem prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi - wysokim, średnim oraz niskim - w porównaniu do miejsc, gdzie miały miejsce historyczne powodzie, wynika, że zasięgi tych terenów są różne.

Ponieważ z upływem czasu mogą ulegać zmianie dane wejściowe do modelowania przebiegu zjawiska powodzi (np. zmiany w pokryciu terenu, nowe inwestycje drogowe, budowa lub przebudowa obiektów hydrotechnicznych, dostępność bardziej precyzyjnych danych topograficznych lub opadowych), konieczny jest przegląd istniejących map i ewentualnie ich aktualizacja. W ustawie *Prawo wodne* (Dz. U. 2017 poz. 1566) określono potrzebę wykonania przeglądu i aktualizacji map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego co 6 lat. Zatem korzystając z tych materiałów należy zwrócić uwagę, czy korzystamy z najnowszego opracowania.

Największą zaletą tej metody jest szeroka dostępność jej efektów. MZP i MRP zostały upowszechnione w internecie, przez co są dostępne dla każdego obywatela. Można je przeglądać bezpośrednio w systemach informacji przestrzennej (geoportalach), jak i pobierać poszczególne arkusze w skali 1: 10 000, np. w postaci formatów *pdf* czy *geotiff*. Dostępne są także **warstwy wektorowe** w formacie *shapefile*, które można zastosować do różnych analiz przestrzennych z wykorzystaniem narzędzi GIS. Na upowszechnienie informacji o zagrożeniu powodziowym w krajach Unii Europejskiej ogromny nacisk kładzie Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (Dyrektywa Powodziowa). Korzystanie z tych map jest bezpłatne, co niewątpliwie stanowi ich zaletę.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Na szczególną uwagę zwraca również fakt dostępności dla obywateli symulacji wielkości zalewów przy zniszczeniu wałów lub obiektów piętrzących, zatem uświadamia o możliwych konsekwencjach zniszczenia/uszkodzenia ww. obiektów hydrotechnicznych dla ludzi zamieszkujących obszary potencjalnie zagrożone powodziami.

### C. Ocena przydatności zastosowania metody

Metoda ta, pomimo swojej niedoskonałości, jest niezwykle cennym źródłem wiedzy o zagrożeniu i ryzyku powodziowym w danej zlewni, a tym samym stanowi ważne narzędzie w podejmowaniu decyzji o jej zagospodarowaniu.

Udostępnienie informacji na temat obszarów zagrożonych powodzią oraz poziomu tego zagrożenia, a także określenie ryzyka związanego z wystąpieniem powodzi w danej lokalizacji, z pewnością przyczyni się do podejmowania świadomych i racjonalnych decyzji zarówno przez mieszkańców, jak i władze lokalne w kwestii lokalizacji inwestycji. Każdy obywatel ma możliwość sprawdzenia, czy mieszka na obszarze narażonym na powódź oraz w jakim stopniu to zagrożenie go dotyczy.

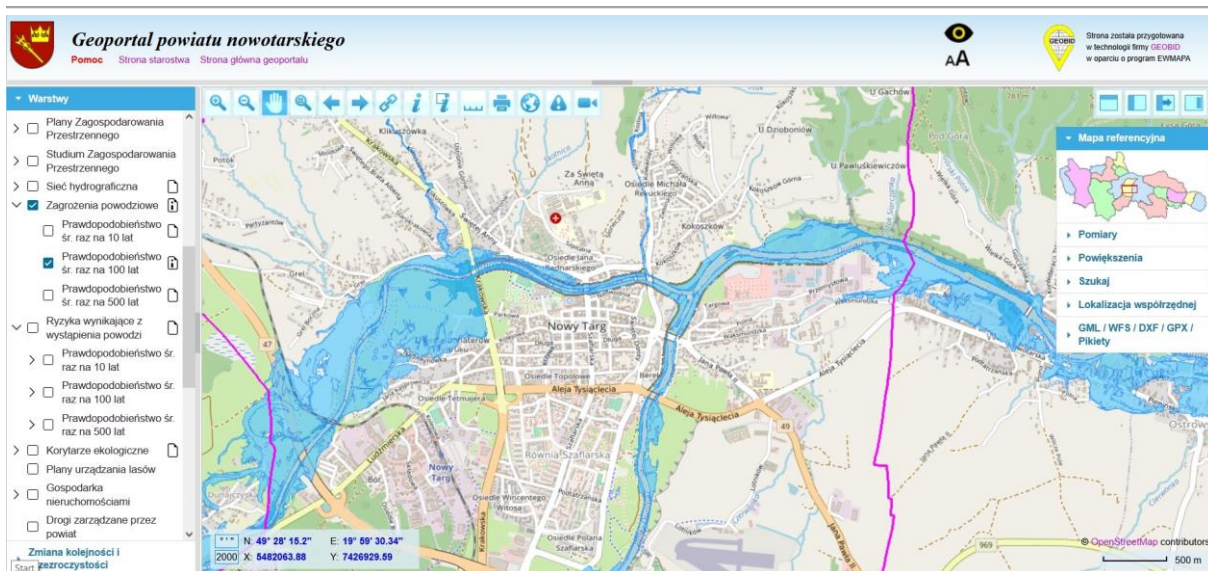
Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego powinny stanowić materiał bazowy dla przygotowywanych planów zagospodarowania przestrzennego gmin i powiatów.

### D. zastosowania metody w celu przeciwdziałania powodziom z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia

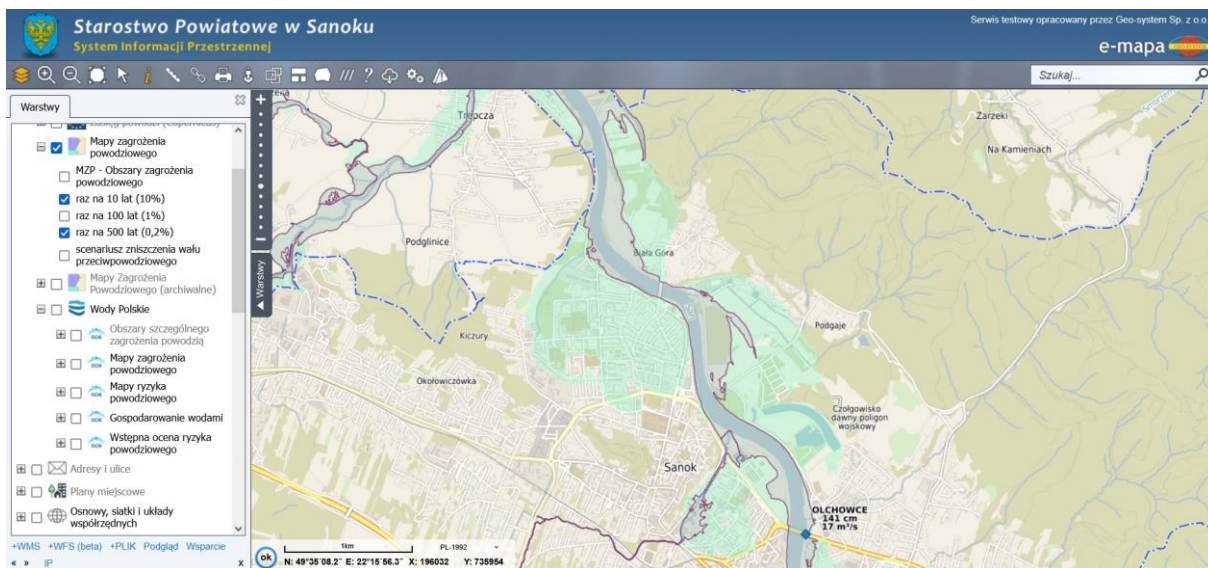
Efekty mapowania obszarów narażonych na wystąpienie zjawiska powodzi i związanych z nim negatywnych skutków dla człowieka i jego mienia są dostępne w geoportalach poszczególnych gmin i powiatów w polskiej części obszaru wsparcia projektu. Treści te znajdziemy m.in. w geoportalu powiatu nowotarskiego (<https://nowotarski.geoportal2.pl>), systemie informacji przestrzennej Starostwa Powiatowego w Sanoku (<https://sanocki.e-mapa.net>), czy powiatu oświęcimskiego (<https://oswiecimski.e-mapa.net/>). Poniżej zaprezentowano przykładowe mapy wygenerowane z wspomnianych portali internetowych (Ryciny 2,3,4).

## Polska – Słowacja

**Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien**



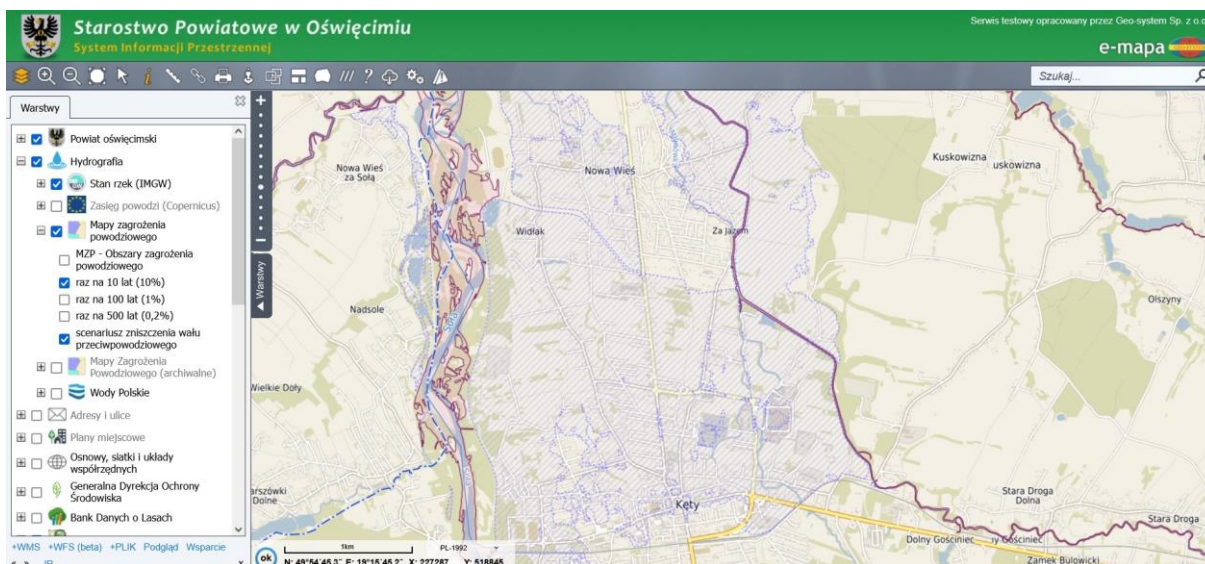
Rycina 2. Fragment mapy zagrożenia powodziowego (MZP) w okolicach Nowego Targu z prawdopodobieństwem wystąpienia powodzi raz na 100 lat, wygenerowany z Geoportalu powiatu nowotarskiego.



Rycina 3. Fragment mapy zagrożenia powodziowego (MZP) w okolicach Sanoka z prawdopodobieństwem wystąpienia powodzi raz na 10 lat (zasięg zaznaczono bordową linią) oraz raz na 500 lat (zasięg kolorem jasnozielonym), wygenerowany z systemu informacji przestrzennej Starostwa Powiatowego w Sanoku.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

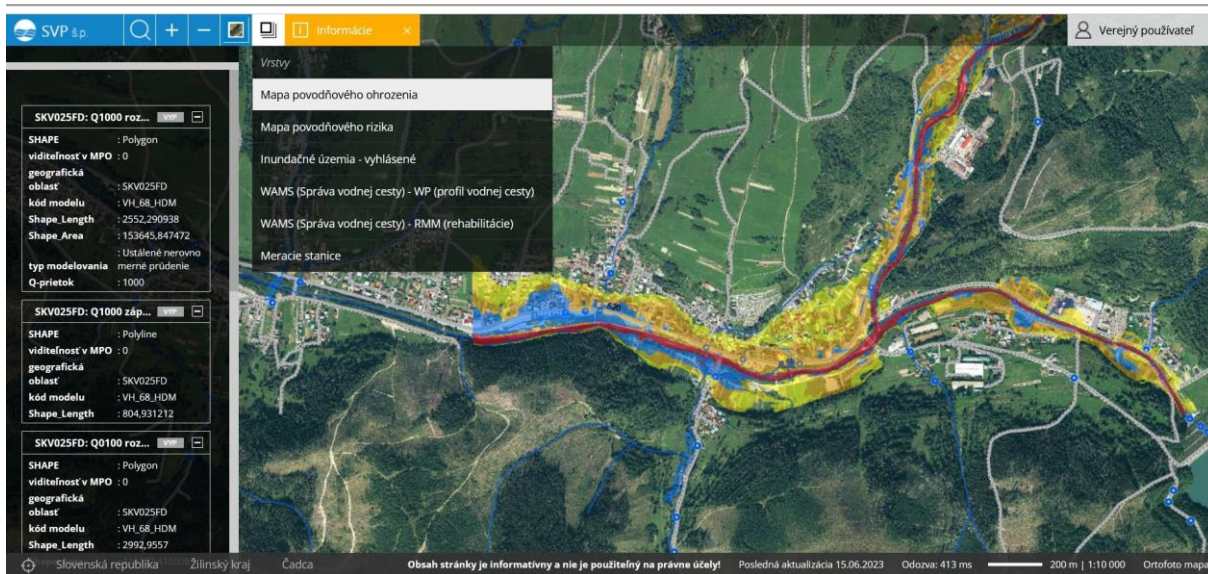


Rycina 4. Mapa zagrożenia powodziowego (MZP) w okolicach Kęt przedstawiająca scenariusz zniszczenia wału przeciwpowodziowego (zasięg wód zakresowano) oraz prawdopodobieństwem wystąpienia powodzi raz na 10 lat (zasięg zaznaczono bordową linią), wygenerowany z systemu informacji przestrzennej Starostwa Powiatowego w Oświęcimiu.

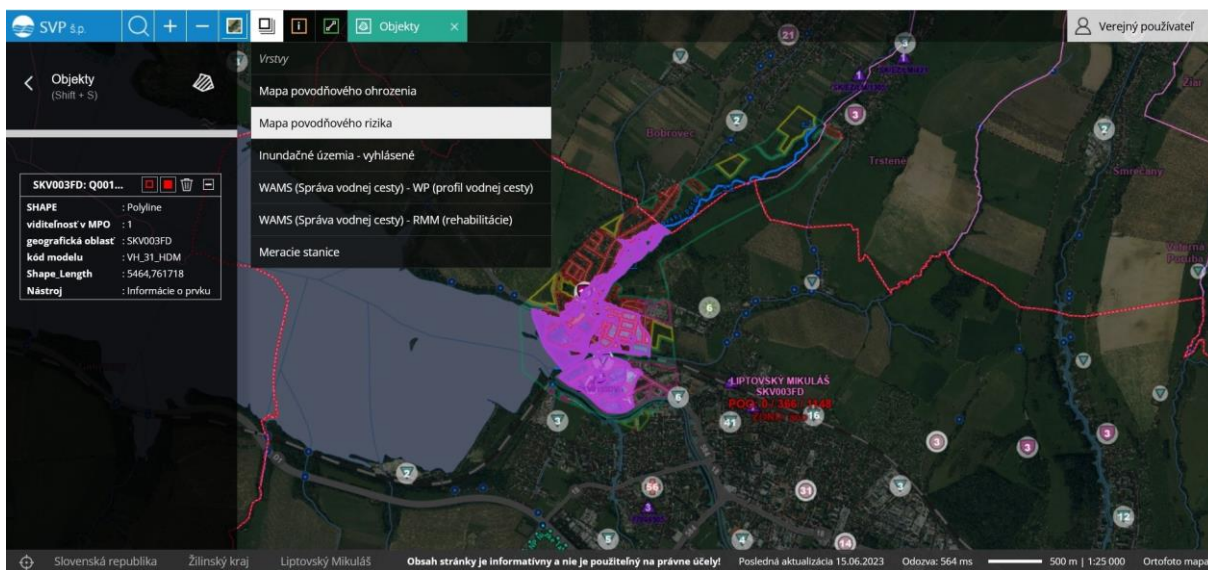
Wyniki mapowania terenów o szczególnym zagrożeniu powodziowym są dostępne także dla samorządów położonych po słowackiej stronie obszaru wsparcia projektu. Przykładowe fragmenty map przedstawiają Ryciny 5 i 6.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 5. Fragment mapy zagrożenia powodziowego w okolicach Čadcy (Žilinský kraj), wygenerowany z geoportalu słowackiego (<https://mpt.svp.sk>).



Rycina 6. Fragment mapy ryzyka powodziowego w okolicach Liptovského Mikuláša (Žilinský kraj), wygenerowany z geoportalu słowackiego (<https://mpt.svp.sk>).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

---

### II. Infrastrukturalne (techniczne) metody ograniczające negatywne skutki powodzi – ochrona bierna.

#### A. Opis techniczny metody przeciwdziałania powodziom wraz założeniami teoretycznymi

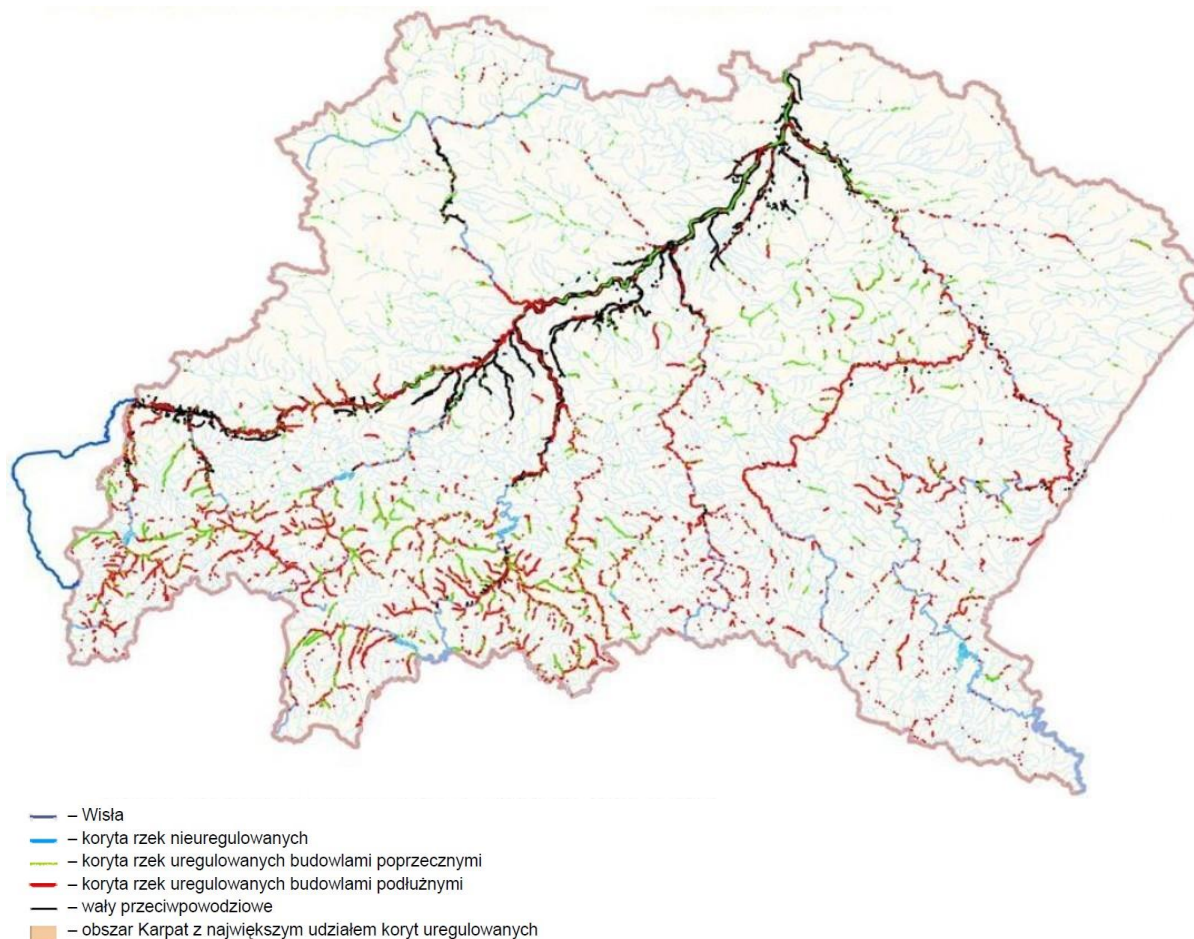
**Metody te obejmują przede wszystkim:**

- modyfikację przebiegu koryta rzecznego z wykorzystaniem budowli hydrotechnicznych (np. tamy podłużne i poprzeczne, progi, jazy, stopnie wodne) i umocnień brzegów,
- budowę wałów przeciwpowodziowych.

**Prace regulacyjne** na rzekach europejskich rozpoczęły się już w późnym średniowieczu, jednak na szerszą skalę realizowane były dopiero w XIX wieku. Efektem tych działań w polskiej części Karpat było przekształcenie szerokich koryt wielonurtowych, typowych dla rzek górskich, w koryta o jednym nurcie. Prace regulacyjne polegały na modelowaniu wąskiego, jednonurtowego koryta oraz eliminowaniu bocznych koryt za pomocą budowli podłużnych. W rezultacie tych działań, koryta rzek stały się mniej kręte, krótsze i węższe, co prowadziło do zwiększenia ich spadku oraz przyspieszenia odpływu wód. Bardzo intensywne prace regulacyjne prowadzono w drugiej połowie XX wieku, a najszerszy ich zakres zrealizowano w zachodniej i środkowej części Karpat (Gorczyca E., Krzemień K., 2010). Najwięcej prac regulacyjnych przeprowadzono na odcinkach rzek w ich dolnych biegach, co wynikało z potrzebą zabezpieczenia terenów przybrzeżnych, które były intensywnie zasiedlone i zagospodarowane. Obecnie większość koryt w polskich górach jest już w różnym stopniu uregulowana (Rycina 7).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 7. Uregulowane koryta rzek i potoków w dorzeczu górnej Wisły (Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie), za Gorczyca E., Krzemień K., 2010.

**W ustawie *Prawo wodne*, w art. 236 czytamy, że „regulacja koryt cieków naturalnych, zwana dalej „regulacją wód”, służy poprawie warunków korzystania z wód i ochronie przeciwpowodziowej lub ochronie przed suszą. Regulacja wód polega na podejmowaniu przedsięwzięć dotyczących kształtowania przekroju podłużnego i poprzecznego oraz układu poziomego koryta cieku naturalnego. Regulacja wód powinna zapewnić dynamiczną równowagę koryta cieku naturalnego”.**

W korytach poddanych pracom regulacyjnym niezwykle ważne jest zachowanie ich równowagi pionowej i poziomej. Utrata tej równowagi może skutkować wzrostem zagrożenia powodziowego.

## Polska – Słowacja

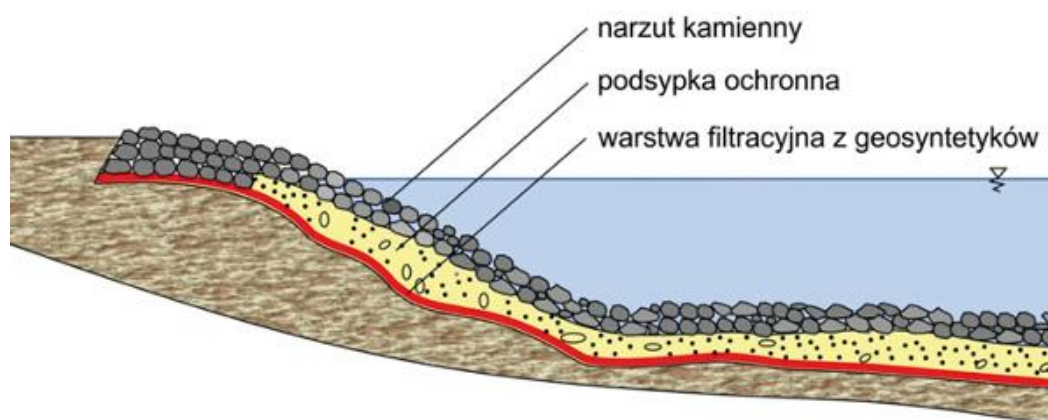
*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

**Umocnienia brzegowe** pełnią kilka istotnych funkcji, z których najważniejsze to ochrona infrastruktury (zabezpieczanie dróg, mostów i budynków usytuowanych blisko rzek) oraz zapobieganie erozji (ograniczenie niszczenia brzegów spowodowanego przez nurt i falowanie). Umocnienia brzegowe ponadto stabilizują koryta rzek (zapobiegają zmianom w ich przebiegu oraz zapewniają przewidywalny przepływ), poprawiają żeglowność (chronią szlaki wodne przed zamulaniem i osuwiskami) oraz zabezpieczają wały przeciwpowodziowe (umacniają brzegi wokół wałów, chroniąc je przed podmywaniem). Umocnienia brzegów można podzielić na techniczne (inżynieryjne) oraz naturalne (biotechniczne).

### a. Umocnienia techniczne (inżynieryjne)

Wybrane rodzaje umocnień technicznych:

- **Opaska brzegowa z narzutu kamiennego** - warstwa kamieni ułożona na brzegu/dnie rzeki (Rycina 8), rozpraszająca energię wody i zapobiegająca erozji. W zależności od szacowanej prędkości nurtu stosuje się kamienie odpowiedniej wielkości, które układa się na podkładzie z geowłókniny. Kamienie powinny być układane i klinowane między sobą. Nie dopuszcza się klinowania drobnymi okruchami, które mogłyby być uniesione przez wodę. Najczęściej stosuje się bloki kamienia łamanego. Materiał ten musi być odporny na działanie wody i mrozu, odznaczać się dużym ciężarem właściwym, nie może ulegać ługującemu działaniu wody, mięknąć i rozsypywać się. Wymogi te spełniają np.: granity, porfiry, sjenity oraz piaskowce krzemionkowe.



Rycina 8. Przekrój przez narzut kamienny osłaniający zarówno brzeg oraz dno cieków (<https://inzynierbudownictwa.pl/umocnienia-denne-i-brzegowe-dla-przeplywow-rwacych-i-progow/>).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

- **Opaska brzegowa w formie ścianki szczelnej (grodzice)** – pionowe elementy (drewniane, stalowe, betonowe albo z tworzyw sztucznych) wbijane, wwibrowywane lub wciskane w dno rzeki w celu zabezpieczenia brzegu/podnóża wału (Rycina 9). Najczęściej stosowane są tzw. ścianki Larsena służące w budownictwie lądowym do zabezpieczania wykopów przed zniszczeniem lub podsiękaniem. Ścianka Larsena jest konstrukcją składającą się z elementów stalowych o precyzyjnie zaprojektowanych kształtach, które zazwyczaj osadza się w podłożu za pomocą wibromłotów. Do budowy tego typu ścianki najczęściej wykorzystuje się profile w kształcie U lub Z, które łączone są specjalnymi stalowymi zamkami zapewniającymi hermetyczność.



Rycina 9. Ścianka szczelna wykonana z grodzic winylowych zabezpieczająca brzeg ciek (https://www.pietrucha.pl/pl/oferta/inzyniera-ladowa-i-wodna/grodzice-winylowe)

- **Opaska brzegowa w formie muru oporowego** to betonowe, kamienne, ceglane lub zbudowane z gabionów ściany, które chronią brzegi przed podmywaniem i osuwaniem gruntu. Obecnie najczęściej do budowy murów oporowych stosuje się gabiony, czyli duże klatki lub kosze w formie prostopadłościanu o objętości od 0,25 do 4 m<sup>3</sup>, wykonane z prętów i siatki stalowej, wypełnione tłuczniem kamiennym lub żwirem. Kosze gabionowe, ustawione w odpowiedni sposób, stanowią skuteczną, masywną i trwałą zaporę przeciwpowodziową, regulują i kontrolują bieg rzeki. Gabiony oferują wiele korzyści. Ich elastyczność pozwala na łatwe dopasowanie do ukształtowania terenu.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Ich montaż jest szybki i prosty, nawet w trudnych warunkach, takich jak prace pod wodą. Technologia pozwala na zmechanizowanie tych działań, co sprawia, że są one bardziej ekonomiczne w porównaniu do tradycyjnych murów oporowych budowanych z kamienia czy zbrojonego betonu. Gabiony znajdują również zastosowanie w tymczasowej ochronie przed powodzią, mogą służyć do podwyższania wałów przeciwpowodziowych oraz zabezpieczania dróg i osiedli. **Mury oporowe** to konstrukcje inżynierskie stosowane do stabilizacji brzegów rzek najczęściej w obszarach zabudowanych, gdzie przestrzeń na bardziej naturalne metody umocnień jest ograniczona (Rycina 10).



Rycina 10. Mury oporowe wykonane z gabionów (<https://www.flickr.com/photos>).

- **Opaski brzegowe z wykorzystaniem geokraty i geowłókniny.** Są to syntetyczne materiały stabilizujące grunt oraz zapobiegające jego wypłukiwaniu. Geokraty (Rycina 11) to trójwymiarowe, ażurowe struktury wykonane z polimerów (np. polietylenu HDPE). Po rozłożeniu na chronionej powierzchni tworzą przestrzenną siatkę komórek, które można wypełnić gruntem, kruszywem, betonem. Ponadto komórki wypełnione gruntem można obsadzić roślinnością. Geowłókniny natomiast to cienkie, syntetyczne tkaniny wykonane z polipropylenu (PP) lub poliestru (PET). Działają jako warstwa filtrująca, separująca i wzmacniająca grunt. Stosuje się je najczęściej jako podściółkę pod geokraty, narzuty kamienne albo obsadzenia.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 11. Uzupelnianie geokraty narzutem żwirowo- kamiennym (<http://www.geokrata-geokrata.pl>).

Rodzaje umocnień technicznych - ostrogi brzegowe i tamy podłużne:

- **Ostrogi brzegowe (tamy poprzeczne)** - to konstrukcje hydrotechniczne budowane prostopadle lub skośnie do brzegu rzeki w celu regulacji przepływu wody (Rycina 12), ochrony brzegów przed erozją oraz poprawy warunków żeglugowych. Jednym z pożądanych efektów stosowania tego rodzaju budowli jest zawężenie koryta cieku, co prowadzi do skoncentrowania przepływu w węższym przekroju. Takie działanie skutkuje wzrostem prędkości przepływu, co z kolei zwiększa unoszenie rumowiska. W miejscach, gdzie prędkość przepływu maleje, następuje odkładanie tego rumowiska; przykładem są obszary pomiędzy ostrogami czy akweny oddzielone tamą podłużną, które posiadają otwór umożliwiający ich zalewanie. Poprawa warunków hydraulicznych, wynikająca z budowy tam, prowadzi do wzrostu prędkości przepływu oraz siły unoszącej rumowisko, co często skutkuje erozją denną. To zjawisko powinno być uwzględnione na etapie projektowania i realizacji robót. Kluczowe jest odpowiednie zabezpieczenie stateczności budowli od strony nurtu rzeki, szczególnie w przypadku tam podłużnych. Ważne jest to również w odniesieniu do tam poprzecznych, zwłaszcza w kontekście ich głowic. Należy pamiętać, że korona tam zazwyczaj sięga jedynie do poziomu średniej rocznej wody lub jest od niej niższa, co może powodować jej zalewanie w trakcie wezbrań. Stosuje się ostrogi drewniane (tanie i łatwe w budowie, ale nietrwałe), ostrogi kamienne (trwałe i ekologiczne, ale wymagające dużych nakładów pracy), ostrogi betonowe (wytrzymałe, ale mogące negatywnie wpływać na ekosystem) oraz

## Polska – Słowacja

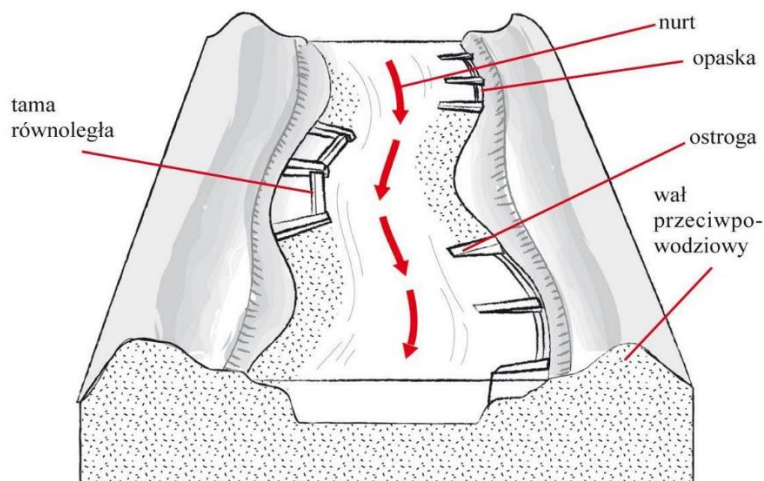
*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

faszynowe (wykonane z wiązek gałęzi i kamieni, stosowane w naturalnych metodach ochrony brzegów).



Rycina 12. Ostrogi brzegowe (<https://www.zegluga-rzeczna.pl/articles/542/stopnie-wodne-czy-zabudowa-regulacyjna>).

- **Tamy podłużne** - budowle podobne konstrukcyjnie do ostróg, jednak ustawione wzdłuż biegu rzeki łącząc najczęściej głowice ostróg (Rycina 13). Tamy podłużne zabezpieczają brzeg przed rozmywaniem w miejscach najbardziej narażonych na erozję, wspomagając działanie ostróg.



## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Rycina 13. Rysunek poglądowy regulacji rzeki poprzez zastosowanie tam poprzecznych (ostróg) oraz tam równoległych (<https://www.obozyzeglarskie.com/baza-wiedzy/dzialy/locja-srodladowa/podrozdzialy-5/rzeka-i-czytanie-wody/rzeka-uregulowana/>).

### b) Umocnienia naturalne (biotechniczne)

Umocnienia naturalne opierają się na naśladowaniu procesów stabilizacji brzegów, które występują w środowisku i są mu bardziej przyjazne.

Wybrane rodzaje umocnień naturalnych:

- **Nasadenia roślinności** posiadającej mocne i rozległe systemy korzeniowe oraz szybko rosnącej - korzenie roślin wzmacniają grunt i ograniczają erozję. Umocnienie brzegów rzek przy użyciu roślinności to skuteczna metoda ochrony przed erozją, osunięciami gruntu na linii brzegowej. Może być realizowana poprzez nasadenia roślin drzewiastych i krzewiastych, np.: wierzb (*Salix* spp.), olszy (*Alnus* spp.), dereni białych (*Cornus alba*), rokitników zwyczajnych (*Hippophae rhamnoides*). Stosuje się też obsiew trawami i roślinami zielnymi, np. kostrzewą czerwoną (*Festuca rubra*) czy mozgą trzcinową (*Phalaris arundinacea*). Wilgotny grunt stabilizują dobrze rośliny bagienne, np. turzyce (*Carex* spp.) i tatarak zwyczajny (*Acorus calamus*). Stosuje się także faszynowanie z żywych pędów wierzby lub derenia, układając je wiązkami wzdłuż brzegu rzeki, na konstrukcji z drewnianych pali.

- **Faszynowanie** - stosowanie faszyn, czyli wiązek cienkich gałęzi (najczęściej wierzbowych, olchowych lub leszczynowych), które są ze sobą powiązane w długie pęki. Faszyna jest materiałem naturalnym, elastycznym i przepuszczalnym, dzięki czemu świetnie stabilizuje podłoże, zatrzymuje osady i wspomaga rozwój roślinności. Umocnienie brzegów rzek faszyną to tradycyjna i ekologiczna metoda zabezpieczenia przed erozją wodną (Rycina 14). Najczęściej stosowanym sposobem wykorzystania faszyny to budowa opasek faszynowych - układanie wiązek faszyny wzdłuż brzegu rzeki, wykorzystując jako szkielet drewniane paliki wbite w dno. W ten sposób tworzy się elastyczną barierę, która chroni brzeg przed podmywaniem. Inną metodą wzmacniającą stabilność brzegów jest układanie tzw. materacy faszynowych - płaskich mat z faszyny i wiklin, które po przysypaniu gruntem sprzyjają porostowi roślinności.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



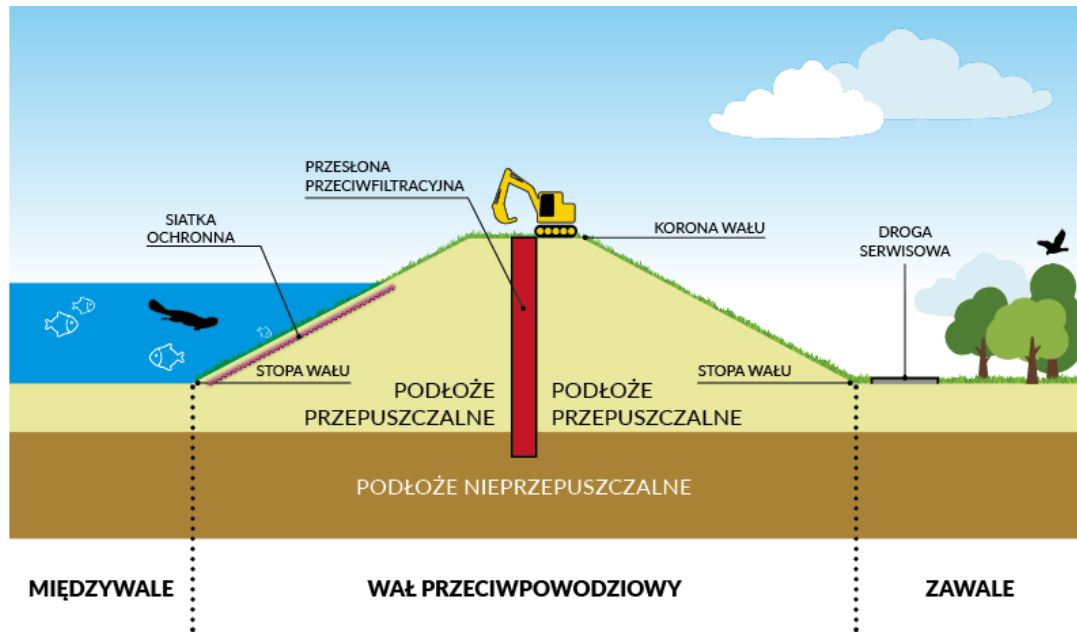
Rycina 14. Brzeg umocniony faszyną ([https://www.favore.pl/420653\\_kiszka-faszynowa-umacnianie-brzegow-stawow-rzek-oczek-wodnych-sanok-warszawa-radom-podkarpackie.html](https://www.favore.pl/420653_kiszka-faszynowa-umacnianie-brzegow-stawow-rzek-oczek-wodnych-sanok-warszawa-radom-podkarpackie.html)).

Kolejnym elementem infrastruktury mającym na celu przede wszystkim ochronę przed rozlewaniem się wód powodziowych są **wały przeciwpowodziowe**.

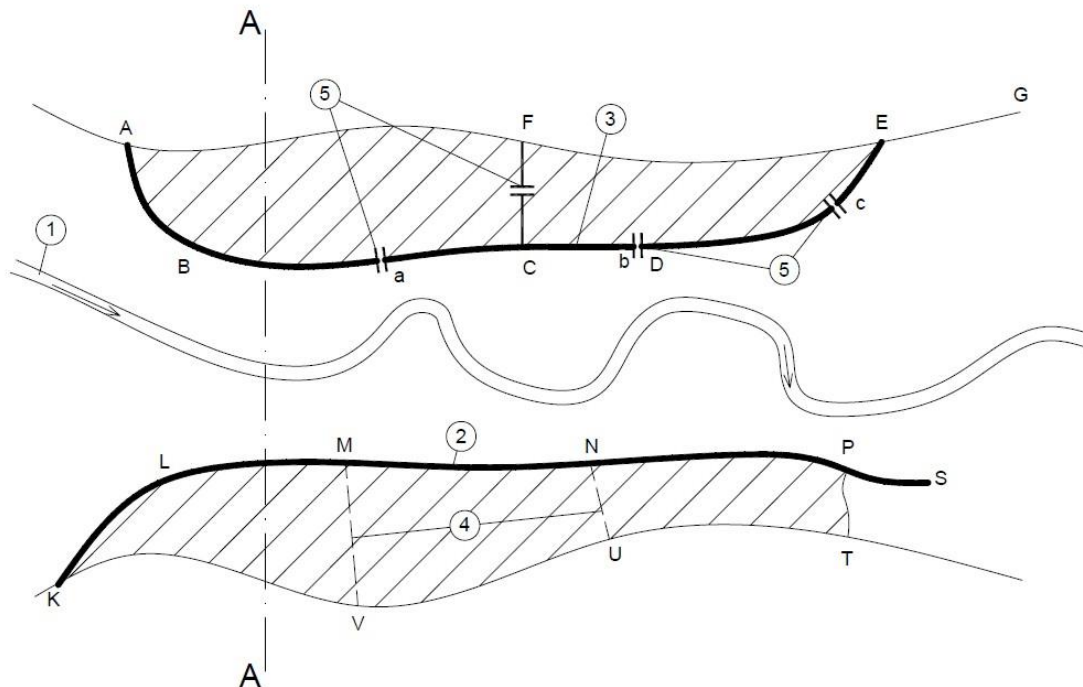
**Wał przeciwpowodziowy** jako konstrukcja hydrotechniczna (Rycina 15), pełni funkcję piętrzenia wody, przypominając zaporę ziemną. Główna różnica między tymi dwoma typami budowli polega na tym, że wał przeciwpowodziowy działa jako budowla piętrząca jedynie w okresach wezbrań. Co więcej, woda na wale jest w ruchu, płynąc równoległe do płaszczyzny skarpy. Czas trwania wezbrań może być różnorodny – mogą to być zarówno krótkie, jak i dłuższe okresy. Te drugie często występują w przypadku większych rzek, zwłaszcza podczas wiosennych roztopów po długiej i śnieżnej zimie. Jeżeli czas wysokich stanów wody jest dostatecznie długi, w korpusie wału może kształtować się reżim filtracyjny, podobny do tego w zaporze ziemnej z utrzymującym się piętrzeniem. Ruch wody spiętrzonej na wale ma znaczenie dla konstrukcji samej skarpy, która musi być zaprojektowana w sposób odporny na dynamiczne oddziaływanie wody, zwłaszcza podczas spływu kry lodowej. W tym kontekście pomocne mogą być również wspomniane wcześniej wały kierujące (Bednarczyk i.in., 2006).

## Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 15. Schematyczny przekrój wału przeciwpowodziowego (<https://www.wody.gov.pl/images>)



## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Rycina 16. Schemat obwałowania w dolinie rzecznej. 1- rzeka, 2- wał otwarty, 3- wał zamknięty, 4- wały poprzeczne, 5- przepusty (Bednarczyk i.in., 2006).

Typowe obwałowanie odcinka rzeki przedstawiono na Rycinie 16. Linie (AFEG) oraz (KVUT) wskazują brzegi doliny rzecznej, która ulega zalaniu w trakcie przejścia wód powodziowych. Lewa część obwałowania stanowi wał zamknięty (ABCDE), natomiast prawa część to wał otwarty (KLMNPS). W przypadku wału otwartego, podczas powodzi woda wdziera się za wał do linii (PT), osiągając poziom zgodny z poziomem wody w rzece na końcu wału (S). Miejsca zaznaczone kreskami na rycinie 16 oznaczają obszary, które nie są zalewane. Budowa wałów otwartych ma sens w przypadku rzek o dużych spadkach oraz szerokich dolin. Wody opadowe i woda z topniejącego śniegu, gromadzące się w obszarze odgrodzonym przez wał otwarty, spływają swobodnie w dół. Przy zamkniętych wałach, podczas powodzi, woda lokalna gromadzi się w zagłębieniach na ich powierzchni. Aby umożliwić odpływ tej wody do rzeki, buduje się przepusty w wałach, które pozwalają na odprowadzenie wody po ustąpieniu powodzi w międzywał (Rycina 16, a ,b, c). W przypadku przerwania głównych wałów, aby określić obszar zalany, czasami są wznoszone wały poprzeczne (działowe) (CF, MV, NU), które niekiedy wyposażone są w upusty z zamknięciami (CF).

Wał przeciwpowodziowy powinien pełnić swoją ochronną rolę na całej długości. Nawet niewielkie uszkodzenie jego struktury może prowadzić do utraty funkcji ochronnych. W przypadku uszkodzenia obwałowania, często dochodzi do zalania dużych obszarów, które były przez nie osłaniane. Co więcej, powstanie wyrwy czy przebiccia w wale może przyczynić się do jego dalszej, szybkiej destrukcji. W normalnych warunkach wysokie przepływy wody utrzymują się zazwyczaj przez kilka dni, co sprawia, że ryzyko przefiltrowania wody na drugą stronę obwałowań jest stosunkowo małe. Jednak w sytuacjach powodziowych wysoki poziom wody może utrzymywać się znacznie dłużej, co stanowi poważne zagrożenie dla stabilności wału (<https://bzg.pl/poradnik/arttykul/budowa-ziemnych-walow-przeciwpowodziowych-a-stabilizacja-gruntu/id/13787>).

Przyczyny zalania terenów chronionych przez wały przeciwpowodziowe można wiązać z wystąpieniem jednego lub kilku zjawisk jednocześnie:

- przelanie się wody przez koronę wału, spowodowane błędami projektowymi lub obniżeniem jego korony,
- erozja powierzchniowa skarp wałów oraz odkształcenia w ich strukturze, w tym pęknięcia podłużne i poprzeczne,

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

- utrata szczelności wału i jego podłoża, prowadząca do przesiąków podczas wezbrań, często jako rezultaty złego wykonania, w tym niewłaściwego zagęszczenia gruntu, lub rozluźnienia pod wpływem korzeni drzew rosnących w pobliżu,
- zjawiska filtracyjne, takie jak sufozja czy przebiec hydraulicznych,
- nielegalne drążenie nor przez zwierzęta w korpusach wałów,
- ogólny zły stan wału przeciwpowodziowego, który w trakcie wezbrań skutkuje coraz liczniejszymi przeciekami i może prowadzić do zniszczenia wału poprzez jego przebicie czy utratę stateczności,
- brak odpowiednich osłon przeciwoerozyjnych poza darnią.
- powstawanie kanałów w poprzek wału,
- ludzka ignorancja, objawiająca się tworzeniem „dzikich” przejazdów i przejść przez wały.

Każde z tych zjawisk może znacząco wpłynąć na skuteczność ochrony przeciwpowodziowej, co podkreśla wagę odpowiedniego zarządzania i konserwacji wałów.

### B. Opis wad i zalet metody

Największymi zaletami stosowania regulacji rzek jest ograniczenie rozlewania wód na obszary zamieszkane i użytkowane gospodarczo, w tym cenne kulturowo oraz szybkie odprowadzanie wód powodziowych z chronionych obszarów. Niestety, ułatwienie spływu wody w górze rzeki skutkuje zwiększeniem zagrożenia powodzią w dolnym biegu rzeki. Zmiana nurtu prowadzi do szybszej erozji wgłębnej, co w konsekwencji prowadzi do zwężenia koryta rzeki a to wpływa negatywnie na retencję wody, która jest kluczem w zapobieganiu zarówno suszy jak i powodzi. Retencja jest przede wszystkim radykalnie zmniejszana przez odcięcie koryta rzecznego od części równi zalewowej przez obwałowania. Budowle regulacyjne generują wysokie koszty i są to koszty samej budowy oraz koszty utrzymania w zaprojektowanym stanie technicznym. Kontrola stanu i konserwacja budowli regulacyjnych musi być prowadzona nieprzerwanie, ponieważ jest wiele czynników, oprócz tych związanych z działalnością wody, które wpływają na ich funkcjonowanie. Wały, a zwłaszcza ich podwyższanie powoduje mylne wrażenie bezpieczeństwa w strefie zawała, co w sytuacji ich przerwania może doprowadzić do wysokich strat materialnych, a nawet ofiar wśród ludności.

Wśród zalet umocnień inżynierskich można wymienić ich trwałość, wysoką skuteczność w trudnych warunkach oraz szybkość realizacji. Wady to przede wszystkim wysokie koszty, często negatywny wpływ na ekosystemy wodne oraz przyspieszanie erozji poniżej tych umocnień. Zaletami umocnień biotechnicznych jest przede wszystkim wykorzystywanie materiałów

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

naturalnych, poza tym są to konstrukcje wspierające bioróżnorodność i poprawiające retencję. Największą wadą takich umocnień jest mniejsza odporność na intensywne przepływy oraz wydłużony czas ich stabilizacji.

### C. Ocena przydatności zastosowania metody

Powszechnie stosowane sposoby inżynieryjne umacniania brzegów są skutecznym sposobem na zapobieganie erozji brzegów rzek, jednak mają zazwyczaj negatywny wpływ na środowisko. Umocnienie brzegów rzeki ogranicza jej naturalną zdolność do samooczyszczania, a także prowadzi do zakłóceń w ekosystemach wodnych, zagrażając siedliskom ryb i ptaków. Ponadto, przyspieszony przepływ wody może zwiększać ryzyko powodzi w dolnym biegu rzeki, a wzmocnienie jednego odcinka rzeki może przyczynić się do nasilenia erozji w innym miejscu, co prowadzi do konieczności dalszych inwestycji w celu naprawy tych szkód, tworząc błędne koło ciągłych ingerencji w rzekę. Konstrukcje inżynieryjne generują wysokie koszty budowy i konserwacji – konstrukcje betonowe i stalowe są drogie w budowie i wymagają regularnej konserwacji. Z uwagi na wymienione wady należy je stosować tylko w ograniczonym zakresie, w miejscach silnie zagospodarowanych przez człowieka. Należy odstępować od tej metody wszędzie tam, gdzie jest to możliwe stosując nowoczesne i bardziej ekologiczne rozwiązania. Z perspektywy długoterminowej metody biotechniczne mogą okazać się bardziej opłacalne i oczywiście bardziej przyjazne środowisku.

### D. Przykłady zastosowania metody w celu przeciwdziałania powodziom z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia

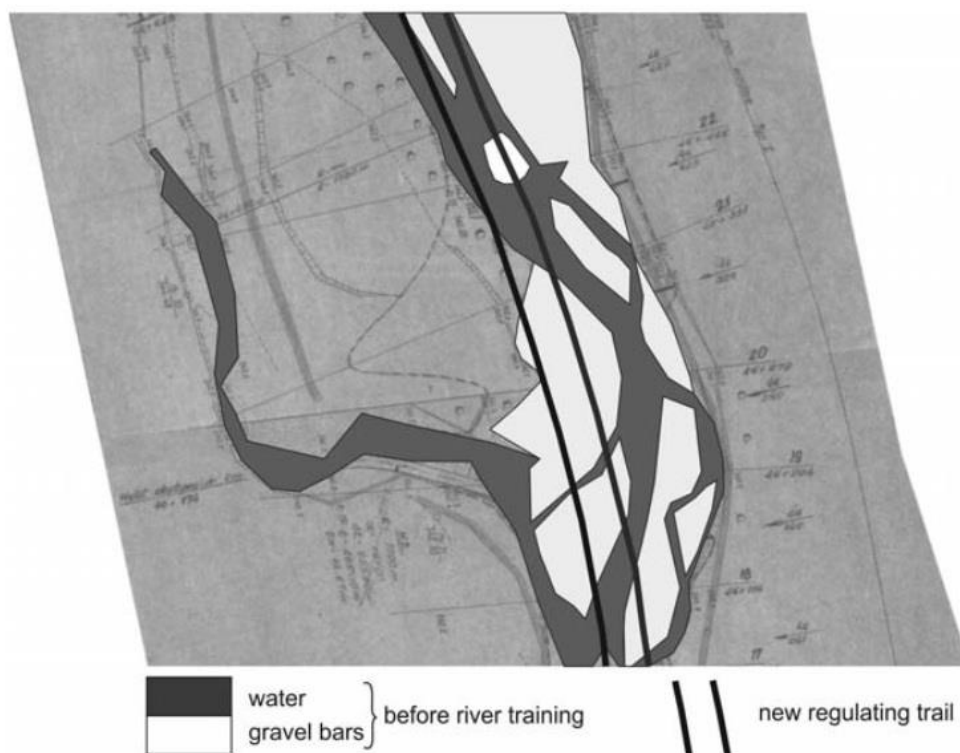
Gminy i powiaty położone w polskiej części obszaru wsparcia w większości położone są w zlewniach karpackich dopływów Wisły. Ta metoda ograniczania skutków wezbrań jest najbardziej powszechna i spotykana w mniejszym lub większym stopniu na wszystkich obszarach zarządzanych przez samorządy terytorialne, w zależności od ich położenia i wynikającego z niego narażenia na zagrożenia powodziowe.

Przykładem może być rzeka Skawa, której dorzecze w całości leży w obszarze wsparcia projektu. W ramach regulacji przeprowadzonych na karpackich dopływach Wisły na przełomie XIX i XX wieku oraz w drugiej połowie XX wieku, brzegi koryta Skawy zostały fragmentarycznie zabezpieczone za pomocą opasek z kamienia łamanego, kiszek faszynowych oraz koszy siatkowo-

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

kamiennych. Powszechnie stosowano także prostowanie odcinków koryta o dużej krętości oraz miejscową redukcję jego szerokości (Rycina 16).



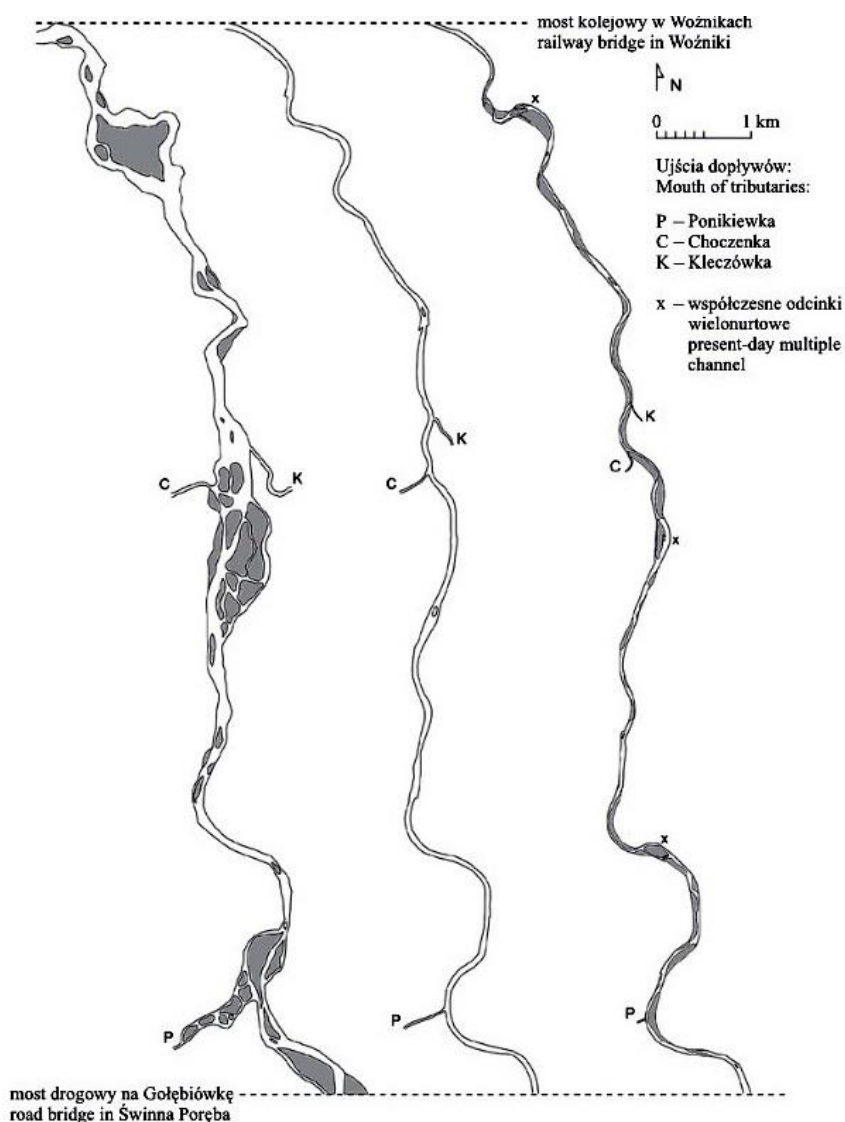
Rycina 16. Przykład sposobu regulacji wielonurtowych odcinków rzek karpackich. Regulacja rzeki Skawy w m. Sucha – Maków Podhalański 44+750–49+600 km, 1976, Okręgowa Dyrekcja Gospodarki Wodnej, Kraków (Krzemień *et al*, 2015). Czarnymi liniami zaznaczono projektowany przebieg koryta po zakończeniu prac regulacyjnych.

Działania te doprowadziły do przekształcenia dawnych fragmentów wielonurtowych w jednonurtowe koryto o małej krętości (Witkowski, Wysmołek, 2013). Dzięki ponad stuletnim pracom regulacyjnym w dolinie Skawy, na przykład w okolicach Wadowic, pod koniec lat 60-tych XX wieku udało się osiągnąć zamierzony efekt (Rycina 17). Blisko czternastokilometrowy odcinek dzikiej rzeki przekształcono w uregulowaną trasę o średniej szerokości 35 m w dnie. Pierwsze wezbrania, jakie miały miejsce w nowym korycie, ujawniły jednak błędy konstrukcyjne oraz niewłaściwe dostosowanie trasy do warunków przepływu w czasie wezbrań. Od powodzi w 1970 roku, zabezpieczenia brzegowe systematycznie ulegały zniszczeniu. Bieżące naprawy pozwoliły na utrzymanie trasy, jednak brak funduszy na remonty umocnień uszkodzonych podczas wezbrań w

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

2010 roku sprzyjał rozwojowi dzikich fragmentów koryta (Witkowski, 2015), m.in. w odcinku koryta Skawy w Woźnikach, czy na wysokości Makowa Podhalańskiego (Witkowski, Wysmołek, 2013).



Rycina 17. Zmiany układu korytowego Skawy w latach 1869–2013 (Witkowski, 2015).

Przykładem prac regulacyjnych wykonywanych w drugiej połowie XX wieku na rzece górskiej może być także koryto rzeki Porębianki, dopływu Mszanki, w zlewni Raby (powiat limanowski).

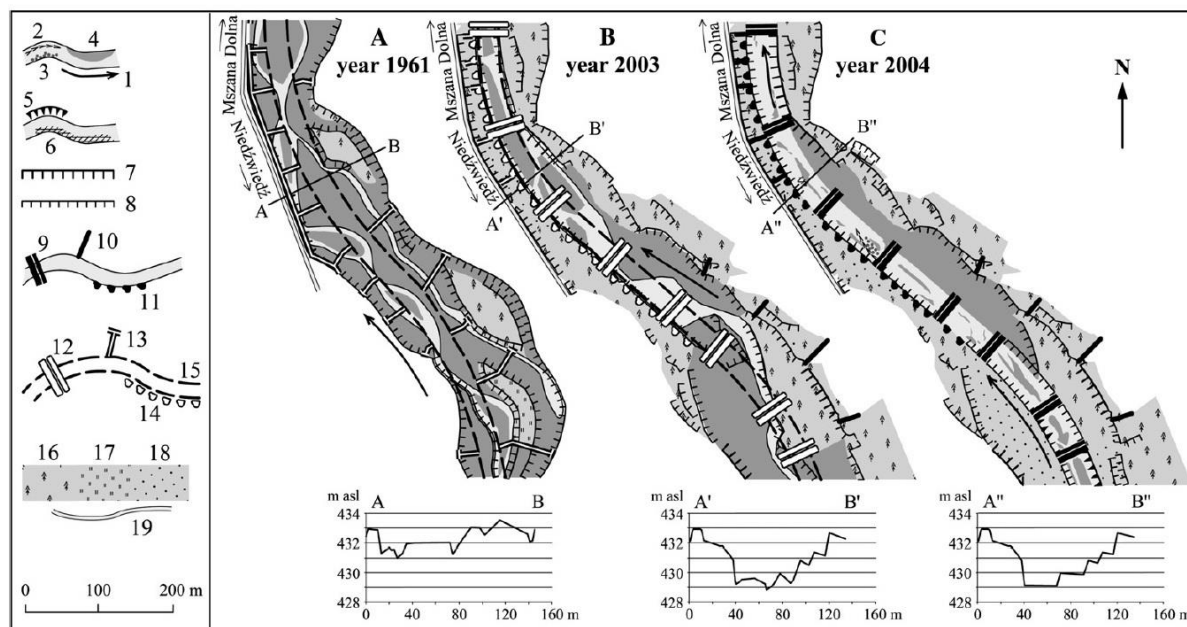
## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Do roku 1960 dolny odcinek koryta rzeki Porębianki charakteryzował się szerokim i roztokowym korytem (Rycina 18A). Droga położona wzdłuż lewego brzegu była narażona na erozję boczną. Rok później opracowano rozwiązanie z ostrogami, mające na celu przeciwdziałanie dalszej erozji brzegów. W ramach tej zmiany przekształcono koryto z roztokowego na jednonurtowe, a jego szerokość zredukowano z około 140 do 30 metrów. W wyniku tych działań wzrósł spadek koryta, co doprowadziło do szybkiego podcinania oraz stopniowego zniszczenia ostróg. W 1977 roku ostrogi już nie istniały, a koryto uległo migracji bocznej. Szesnaście lat po regulacji koryto znacznie się pogłębiło i poszerzyło, a także zaobserwowano tendencję do dzielenia nurtu. Nasilała się erozja boczna i denna, a koryto wykazywało tendencję do odbudowywania morfologii sprzed regulacji z użyciem ostróg. Ze względu na intensywne wcięcie koryta, poprzednia równina zalewowa z systemem opuszczonych koryt była zalewana coraz rzadziej i została przekształcona w poziom terasowy. Jednak po zniszczeniu ostróg, migracja boczna koryta zaczęła zmniejszać nachylenie koryta. Sąsiedni obszar był ponownie zagrożony erozją brzegów — regulacja okazała się nieskuteczna (Korpak, 2007). W 2003 roku przygotowano nowy projekt regulacyjny, który przewidywał ponowne prostowanie i zwężenie kanału do 28 metrów (Rycina 18B). Zaplanowano także budowę 25 progów do metra wysokości, złożonych z głazów, mających na celu ochronę dna koryta przed erozją. Mimo że prace rozpoczęły się pod koniec 2003 roku, nigdy nie zostały ukończone. Budowa progów postępowała w górę rzeki, jednak z powodu problemów finansowych ostatnie siedem progów nigdy nie powstało. Ponieważ prace regulacyjne nie zostały ukończone pojawił się problem, którego wcześniej nie widziano, a mianowicie tendencja do osadzania się w tym odcinku koryta (Rycina 18C). Proces tworzenia się łachy jest dowodem na zaburzenie równowagi między erozją a depozycją w korycie. Można stwierdzić, że wszystkie przeanalizowane prace inżynierskie miały swoje wady. Okazały się one nieskuteczne w dłuższej perspektywie i spowodowały duże, czasami nieprzewidywalne i nieodwracalne zmiany w korycie (Korpak, 2007).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 17. Prace regulacyjne odcinka koryta rzeki Porębianki (Korpak, 2007)

A — morfologia odcinka koryta w 1961 r., B — morfologia odcinka koryta w 2003 r., C — morfologia odcinka koryta w 2004 r.; 1- kierunek przepływu; 2- bystrze; 3 –płoso; 4- łacha; 5- podcięcie brzegu; 6- odsłonięcie skalne; 7- skarpa (wysokość 2–5 m); 8- skarpa (wysokość 0–2 m); 9,12- głazy; 10,13- ostrogi; 11- narzut kamienny; 14- kamień narzutowy; 15- trasa regulacyjna; 16- las; 17- łąka; 18- inne; 19- droga główna.

Wały przeciwpowodziowe występują przede wszystkim w dolinach dużych rzek, gdzie przeciwdziałają rozlewaniu się wód wezbraniowych na obszary zagospodarowane przez człowieka. Wiele z nich to stare budowle, nawet stuletnie. W wielu miejscach konieczna jest zatem ich naprawa bądź modernizacja. Na przykład w 2019 roku rozpoczęto przebudowę wałów w Broszkowicach (powiat oświęcimski), co stanowiło część projektu realizowanego przez Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. Pracami objęto odcinek 750 metrów wzdłuż rzeki Wisły i prawie 450 wzdłuż rzeki Soły (Rycina 18).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

---



Rycina 18. Fotografia przedstawiająca rozbudowę wałów wiślanych w Broszkowicach (<https://gazetakrakowska.pl>).

Obecnie powstają także nowe wały przeciwpowodziowe, które powstają w oparciu o nowe rozwiązania. Na przykład w powiecie jasielskim powstały obwałowania rzeki Ropy, które odsunięto o od koryta rzeki, dzięki czemu dano możliwość rozlania się wodzie w czasie wezbrania (Rycina 19). Wały przeciwpowodziowe Ropy mają kluczowe znaczenie dla zabezpieczenia zdrowia i życia ludzkiego, mieszkań, budynków gospodarczych, infrastruktury krytycznej oraz obiektów dziedzictwa historyczno-kulturowego.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 18. Fragment wału rzeki Ropy. Obwałowania tej rzeki chronią przed powodzią ponad 2000 mieszkańców Trzciny, oczyszczalnię ścieków w tym mieście, linię kolejową Jasło-Stróże oraz drogę krajową nr 28 Jasło-Gorlice. Ochrona ta obejmuje również obiekty muzealne oraz budynki administracyjne skansenu archeologicznego. (Fotografia ze strony <https://www.jaslo365.pl>).

### **III. Infrastrukturalne (techniczne) metody ograniczające negatywne skutki powodzi – kontrola wielkości przepływów wezbraniowych (ochrona czynna)**

#### A. Opis techniczny metody przeciwdziałania powodziom wraz założeniami teoretycznymi

Ochrona czynna przed powodzią to działania mające na celu „przechwycenie” albo co najmniej złagodzenie fali powodziowej poprzez czasowe retencjonowanie nadmiaru wody w specjalnie do tego celu zbudowanych zbiornikach zaporowych. Jeziora zaporowe powstają poprzez spiętrzenie wody w dolinie rzecznej na zaporach o różnej konstrukcji, zależnej od funkcji, jakie spełnia zbiornik.

Ze względu na przeznaczenie, zbiorniki zaporowe można podzielić na:

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

- **Zbiorniki retencyjne** – służące do gromadzenia wody na potrzeby gospodarki wodnej. Pełnią kluczową rolę w zarządzaniu wodami, zwłaszcza w sytuacjach ich nadmiaru (takich jak powódzie) oraz w czasie suszy. Ich głównym celem jest wyrównywanie przepływu rzecznych wód. Zbiorniki te zazwyczaj mają charakter wielofunkcyjny (Rycina 19) - zgromadzona woda może być wykorzystywana do produkcji energii (napędzając turbiny elektrowni wodnych), nawadniania gruntów rolnych, dostarczania wody do miast i zakładów przemysłowych, a także do poprawy warunków żeglugi oraz celów rekreacyjnych.



Rycina 19. Wielofunkcyjny zbiornik retencyjny- przeciwpowodziowy, przeciwpożarowy oraz do zaopatrzenia rolnictwa w wodę (<https://krakow.wody.gov.pl/o-wodach-polskich/zbiorniki-rzgw-w-krakowie>)

- **Zbiorniki wyrównawcze** - to zbiorniki budowane poniżej zapory jako obiekty dodatkowe do zbiorników energetycznych. Ich celem jest wyrównywanie przepływu rzecznej wody poniżej zapory. Każdy zbiornik, bez względu na charakter i przeznaczenie, cechuje się tym, że przepływ w rzece poniżej niego jest zmienny, dlatego w celu zapobiegania takiemu zjawisku buduje się mniejsze zbiorniki wyrównawcze. Ten proces dotyczy najczęściej obiektów energetycznych, które pracują w systemie szczytowym (elektrownie szczytowo-pompowe).

- **Zbiorniki przepływowe** - umieszczone są przy ruchomych jazach, gdzie utrzymywany jest stały poziom wody. W ciągu danego okresu czasu, ilość wody odpływającej ze zbiornika jest równa ilości, która do niego dopływa. Duże zbiorniki przepływowe mogą być wykorzystywane w celach energetycznych oraz do łatwego pobierania wody, co jest szczególnie przydatne dla przemysłu, miast i rolnictwa. Ich główną wadą jest niemożność magazynowania wody na czas suszy. Zbiorniki te najczęściej budowane są na nizinach, gdzie brak jest odpowiednich warunków do przechowywania wody. Ponadto ułatwiają żeglugę i mogą tworzyć kaskady na rzekach.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

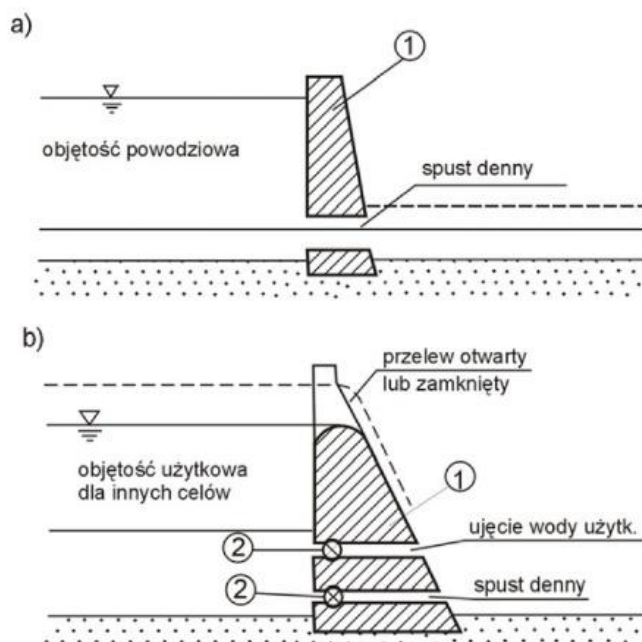
- **Suche zbiorniki wodne** to zbiorniki w dolinie rzecznej wykorzystywane wyłącznie do ochrony przeciwpowodziowej. Upusty w zaporach tworzących te zbiorniki nie mają zamknięć - w okresach między powodzią woda przepływa w sposób naturalny przez czasę zbiornika i spusty (upusty denne). Zatrzymywanie wody następuje, gdy przepływ jest większy od zdolności przepustowej spustów. Po przejściu fali powodziowej i zmniejszeniu przepływu w rzece zbiornik jest znowu „suchy” i często wykorzystywany jako pastwisko. W przeciwieństwie do tradycyjnych zbiorników zaporowych, suche zbiorniki wykorzystują swoją całkowitą pojemność do zatrzymywania wód powodziowych (Rycina 21, 22). Dzięki temu charakteryzują się one wysoką skutecznością w łagodzeniu skutków dużych fal powodziowych.



Rycina 20. Zbiornik wyrównawczy (Czaniec) zbiornika energetycznego (Porąbka).  
(<https://haskoningdhv.pl/projects/jaz-czaniec/>)

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 21. Schematyczne porównanie objętości (rezerwy powodziowej) suchego zbiornika przeciwpowodziowego oraz zbiornika wielozadaniowego przez a- suchy zbiornik przeciwpowodziowy, b- zbiornik wielofunkcyjny, 1- zapora, 2- zamknięcia (Bednarczyk i.in., 2006).

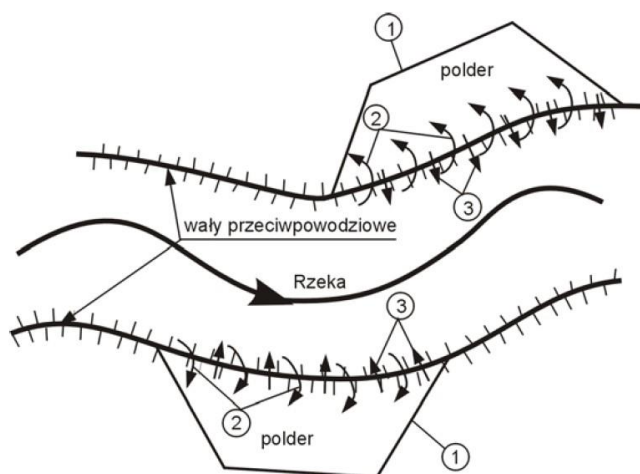


Rycina 22. Suchy zbiornik przeciwpowodziowy (<https://24kłodzko.pl/wody-polskie-zakoczyly-budowe-zbiornika-przeciwpowodziowego-w-krosnowicach/>).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Podobną rolę co suche zbiorniki przeciwpowodziowe spełniają poldery. To zamknięte obszary otoczone wałami, które znajdują się w dolinie rzeki. Pełnią one rolę w zatrzymywaniu części fali powodziowej, a po jej opadnięciu, dzięki urządzeniom upustowym zainstalowanym w wałach, oddają zgromadzoną wodę z powrotem do rzeki (Rycina 23).



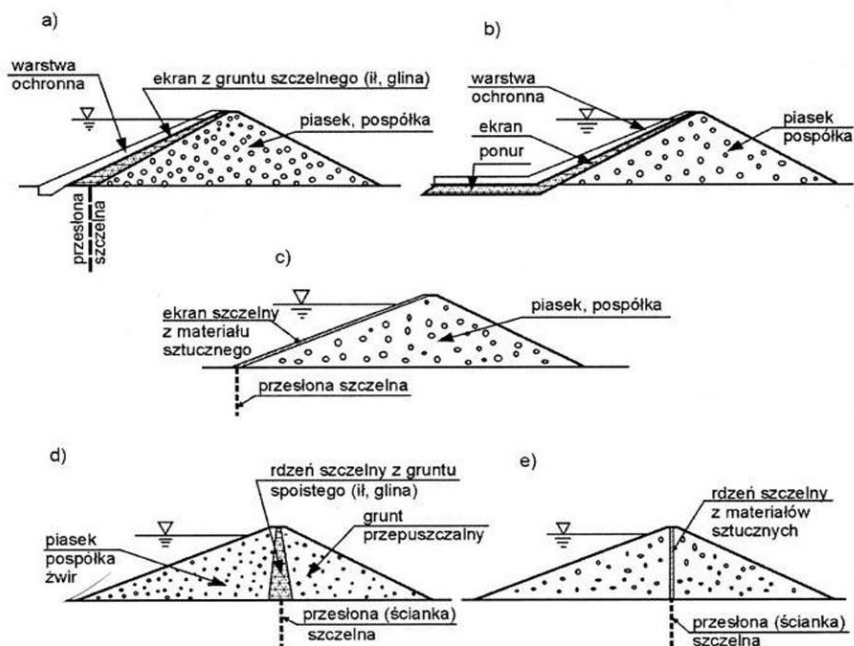
Rycina 23. Schemat ideowy budowy polderów w obwałowanej dolinie rzecznej. 1- obwałowanie polderu, 2- przelew przez koronę wału, 3- spusty denne w wale (Bednarczyk i.in., 2006).

Ze względu na materiał, który został wykorzystany do budowy zapory można je podzielić na kilka rodzajów:

- **Zapory ziemne** – wykonane z gruntów, takich jak glina, piasek czy żwir. Często uszczelniane są rdzeniem glinianym lub betonowym (Rycina 24, 25), co sprawia, że są elastyczne i dobrze dopasowują się do różnorodnych warunków geologicznych. Zapora ziemna w przekroju poprzecznym ma kształt zbliżony do trapezu. Jej korpus to nasyp ziemny lub kamienny, który wznosi się nad podłożem. W obrębie korpusu możemy wyróżnić różne elementy, w tym części statyczne (nasypty statyczne), elementy uszczelniające, drenaże, warstwy przejściowe oraz filtry odwrotne.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 24. Różne sposoby uszczelniania zapór ziemnych  
([https://home.agh.edu.pl/~kowalski/files/BZ\\_06.pdf](https://home.agh.edu.pl/~kowalski/files/BZ_06.pdf))



Rycina 25. Przykład zapory ziemnej z rdzeniem glinianym (<https://krakow.wody.gov.pl/o-wodach-polskich/zbiorniki-rzgow-w-krakowie>).

Górna płaszczyzna korpusu nazywana jest koroną zapory, natomiast dolna płaszczyzna stanowi jej podstawę. Powierzchnie boczne mają charakter skarp. Ich nachylenie określa się w stosunku do wysokości zapory oraz do rzutów skarp na płaszczyzny, na których są osadzone. Nachylenie skarp może być na całej długości stałe lub zmienne. W przypadku zapór wysokich skarpy, zwłaszcza

## Polska – Słowacja

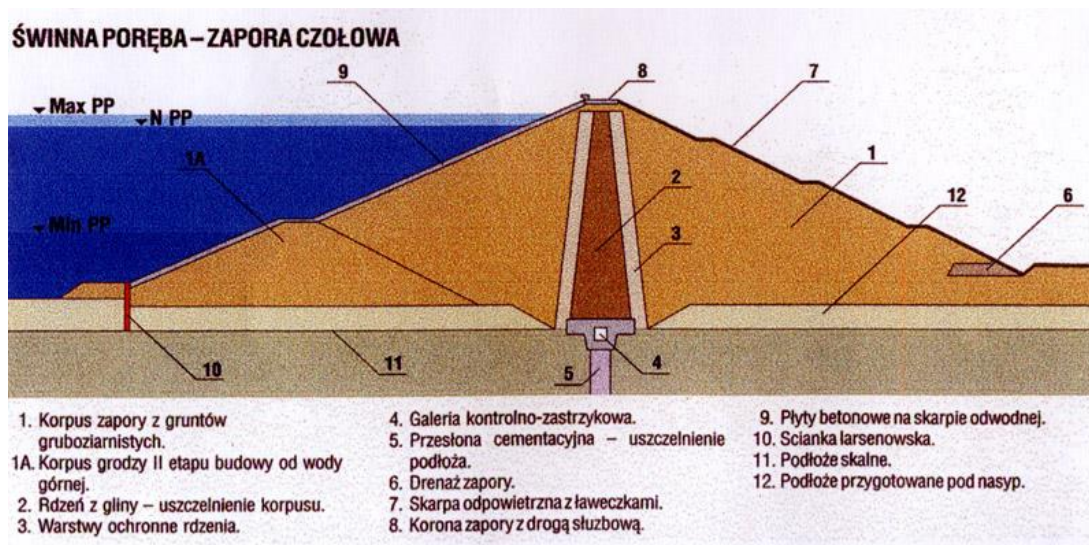
*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

odpowietrzne, często są przerywane ławeczkami, które pełnią funkcję przejść roboczych oraz służą do gromadzenia wód opadowych spływających po ich powierzchniach.

- **Zapory betonowe (ciężkie) o różnej konstrukcji** – charakteryzują się wysoką trwałością oraz odpornością na ogromne ciśnienia wody. Zapory betonowe buduje się najczęściej jako grawitacyjne – ich masa własna przeciwdziała naporowi wody (Rycina 26). Typowym przykładem są betonowe zapory o prostych kształtach. Zapory łukowe mają formę łuku, co pozwala im przenosić siły naporu wody na brzegi doliny, dzięki czemu wymagają mniej materiału niż zapory grawitacyjne. Przykładem jest znana zapora Hoovera w Stanach Zjednoczonych.



Rycina 26. Przykład zapory betonowej (<https://www.gov.pl/web/wody-polskie-krakow/Zbiorniki>). Zbiornik Poręba jest najstarszym element kaskady Soły, zbudowanym w latach 1921-1936.



## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Rycina 27. Schemat konstrukcji zapory ziemnej z rdzeniem z gliny (<https://wadowiceonline.pl>).

### B. Opis wad i zalet metody

Największymi zaletami metod ochrony czynnej przed powodzią jest możliwość przechwytywania wód powodziowych i w ten sposób sterowanie przepływem rzeki. Takie zadania najlepiej wykonują suche zbiorniki wodne, w których cała rezerwa objętościowa jest rezerwą powodziową. W przypadku zbiorników wielofunkcyjnych, pomimo ich znacznych objętości tylko część z niej stanowi rezerwę powodziową. Podczas większych wezbrań może się okazać niewystarczająca. Wówczas, w celu ochrony zapory przed zniszczeniem trzeba zwiększać wielkość odpływu do tak dużych wartości, że poniżej zapory także możemy mieć do czynienia z katastrofalnym wezbraniem. Praca zapory obniża falę powodziową, ale jednocześnie ją wydłuża, co może prowadzić na przykład do nasiąkania i rozmywania wałów przeciwpowodziowych. Sztuczne zbiorniki wodne przechwytyją całość materiału wleczonego i znaczną część zawiesiny, przez co wzmagają siłę erozyjną wody poniżej zapór. Następuje utrata pionowej stabilności koryt rzecznych i wzmoczenie procesów erozyjnych. Widoczne w korytach rzek obniżanie się poziomu den koryt prowadzi do m. in. odsłonięcia filarów mostów, czy zawieszenia nad korytem budowli regulacyjnych, co z kolei generuje koszty budowy umocnień przeciwoerozyjnych. Gromadzone przez dziesięciolecia osady denne jezior zaporowych są wzbogacone w różnego rodzaju zanieczyszczenia- na przykład w zbiorniku Otmuchów na rzece Małej Panwi stwierdzono obecność 5 milionów metrów sześciennych toksycznych osadów (Żelaziński, 2012). Zniszczenie budowli piętrzących zatrzymujących wielkie ilości wody może doprowadzić do katastrofy, ponieważ generuje bardzo stromą falę powodziową. Nie bez znaczenia jest także fakt, że tego typu inwestycje generują bardzo wysokie koszty finansowe, ekologiczne i społeczne. Miejsce budowy zapory jest determinowane szerokością i głębokością doliny rzecznej, co bardzo zawęża możliwości jej lokalizacji. Utworzenie jeziora zaporowego doprowadza do radykalnych zmian w ekosystemach, objawiającym się często zniszczeniem obszarów cennych przyrodniczo. Niejednokrotnie budowa zbiornika zaporowego jest związana z wysiedleniem mieszkańców terenów przeznaczonych pod zalanie, co wyzwała opór społeczny przeciwko takim rozwiązaniom.

### C. Ocena przydatności zastosowania metody

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Zbiorniki retencyjne regulują wielkość przepływu rzek i gromadzą nadmiar wody, dlatego wydają się optymalnym środkiem ochrony przeciwpowodziowej. Często pełnią jednak jeszcze inne funkcje (hydroenergetyczne, rekreacyjne), co sprawia, że ich możliwości przeciwpowodziowe zwykle nie są w pełni wykorzystywane. Szereg innych nie mniej znaczących wad takich inwestycji skłania do wniosku, że z punktu widzenia ochrony przeciwpowodziowej należy odchodzić od budowy nowych wielofunkcyjnych zbiorników zaporowych. Czasowa retencja wód powodziowych powinna być więc realizowana w największym stopniu w suchych zbiornikach przeciwpowodziowych oraz polderach.

### D. Przykłady zastosowania metody w celu przeciwdziałania powodziom z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia

Na terenie gmin i powiatów objętych wsparciem projektu występują zbiorniki retencyjne, które pełnią różne funkcje (np. rezerwuar wody pitnej, turystyczno- rekreacyjna, przeciwpowodziowa, energetyczna). Jednakże podczas zagrożenia powodziowego wszystkie te zbiorniki mają za zadanie chronić obszary niżej położone przed wielką wodą. W tym celu powinny utrzymywać odpowiednią rezerwę powodziową, oszacowaną na podstawie prognoz hydrologicznych.

Rolę jaką odgrywają zbiorniki w zmniejszaniu fali powodziowej można przeanalizować na przykładzie pracy Kaskady Soły, położonej na terenie powiatów bielskiego i żywieckiego, którą tworzą 3 zbiorniki wodne: Tresna, Porąbka i Czaniec. Rezerwę powodziową mają zbiorniki Tresna i Porąbka, natomiast Czaniec pełni rolę zbiornika wyrównawczego. Pracę tych zbiorników należy rozpatrywać łącznie, dopływ rozumiejąc jako dopływ do Tresnej, zaś odpływ jako odpływ z Czańca. Podczas powodzi w 2010 roku mały miejsce dwie fale powodziowe, spowodowane intensywnymi opadami deszczu – w maju i czerwcu.

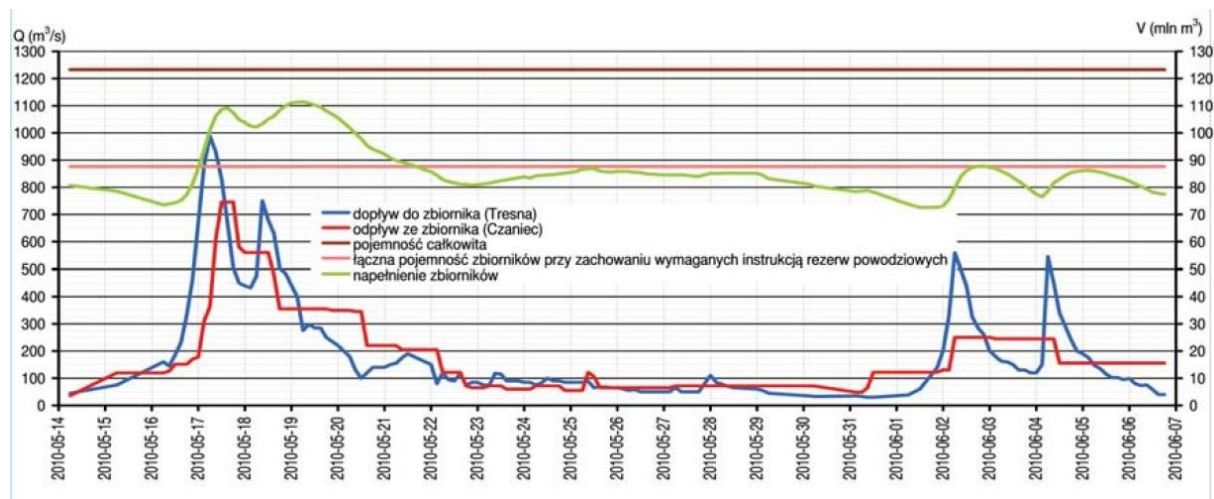
Przed nadejściem pierwszej fali zwiększono rezerwę powodziową poprzez zwiększenie odpływu z kaskady zbiorników. 16 maja około godz. 18.00 dopływ do Tresnej wyniósł 335 m<sup>3</sup>/s i rozpoczęto pracę zbiorników w trybie powodziowym. Fala powodziowa miała dwie kulminacje: pierwsza wystąpiła 17 maja o godz. 6.00 i wyniosła 988 m<sup>3</sup>/s, zaś druga 18 maja o godz. 9.00 w wysokości 750 m<sup>3</sup>/s. W trybie pracy powodziowej zwiększono odpływ ze zbiorników do poziomu 746 m<sup>3</sup>/s, zaś po przejściu drugiej kulminacji do poziomu 560 m<sup>3</sup>/s. Stopniowo odbudowywano rezerwę powodziową i 22 maja odpływ osiągnął normalny poziom tj. 60 m<sup>3</sup>/s. Przebieg tej fali można prześledzić na poniższej Rycinie 28. Zaznaczono na niej także sytuację z początku czerwca 2010 roku, kiedy ponowne silne opady w zlewni wywołały zwiększony dopływ do zbiornika w Tresnej w wysokości 140 m<sup>3</sup>/s (01.06.2010), który osiągnął maksymalną wysokość 2 czerwca równą 559 m<sup>3</sup>/s. Odpływ z Czańca utrzymywano od 31 maja na poziomie 120 m<sup>3</sup>/s, a od 2 czerwca zwiększono do 250 m<sup>3</sup>/s i utrzymywano do 4 czerwca. Po przejściu kulminacji 2 czerwca dopływ do zbiornika w

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Tresnej zaczął spadać. Kolejne silne opady deszczu w dniach 3-4 czerwca ponownie spowodowały zwiększony dopływ do zbiorników, który osiągnął maksymalną wartość 545 m<sup>3</sup>/s. Prognozy wskazujące na szybkie zakończenie opadów pozwoliły na utrzymanie podczas przechodzenia kulminacji wezbrania przez strefę zbiorników odpływu z Czańca na poziomie 250 m<sup>3</sup>/s. Następnie odpływ zmniejszono do 155 m<sup>3</sup>/s. Rezerwy powodziowe zbiorników kaskady Soły w pełni odbudowano 5 czerwca. Pracę kaskady Soły scharakteryzowano w oparciu publikację *Dorzecze Wisły: monografia powodzi maj - czerwiec 2010 (2011)*.

Sterowanie pracą zbiorników spowodowało zmniejszenie kulminacji wezbrań przy jednoczesnym wydłużeniu czasu ich trwania, co dobrze ilustruje wspomniana już Rycina 28.



**Rycina 28. Wykres przedstawiający pracę zbiorników kaskady Soły w dniach 14 maja – 7 czerwca 2010 roku (*Dorzecze Wisły: monografia powodzi maj - czerwiec 2010*).**

Wpływ zbiorników wodnych na ograniczenie skutków ekstremalnych zdarzeń wezbraniowych jest właściwy tylko przy zachowaniu odpowiednio dużej rezerwy powodziowej w zbiornikach, co często przy ich wielozadaniowości jest trudne do osiągnięcia (np. dla celów energetycznych konieczne jest utrzymywanie wysokiego piętrzenia). W przypadku niewystarczającej rezerwy w zbiornikach efekt przeciwpowodziowy ich pracy może być niezadawalający. Powoduje on zbyt małe złagodzenie kulminacji wezbrania dla ograniczenia jego skutków (odpływ jest niższy, ale nadal zbyt wysoki), a gwałtowne upusty wody z zapory mające uchronić ją przed zniszczeniem powodują zwiększenie intensywności procesów erozyjnych w korycie rzeczonym poniżej strefy zbiorników. Wydłużenie czasu trwania zbyt wysokich odpływów ze zbiornika (powyżej przepływu nieszkodliwego) powoduje, że w korycie długo utrzymujący się wysoki poziom wody przyczynia

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

się do niszczenia zabudowy hydrotechnicznej koryta, w tym uszkodzenie wałów przeciwpowodziowych (np. rozmakanie wałów i utrata ich szczelności), czy erozję dna i brzegów (niszczenie stopni wodny, podcinanie umocnień brzegów).

W przypadku Kaskady Soły w wyniku powodzi 1997 roku erozja wymusiła dobudowanie kolejnych dwóch stopni betonowych w korycie bezpośrednio u podnóża ostatniej z zapór -w Czańcu.

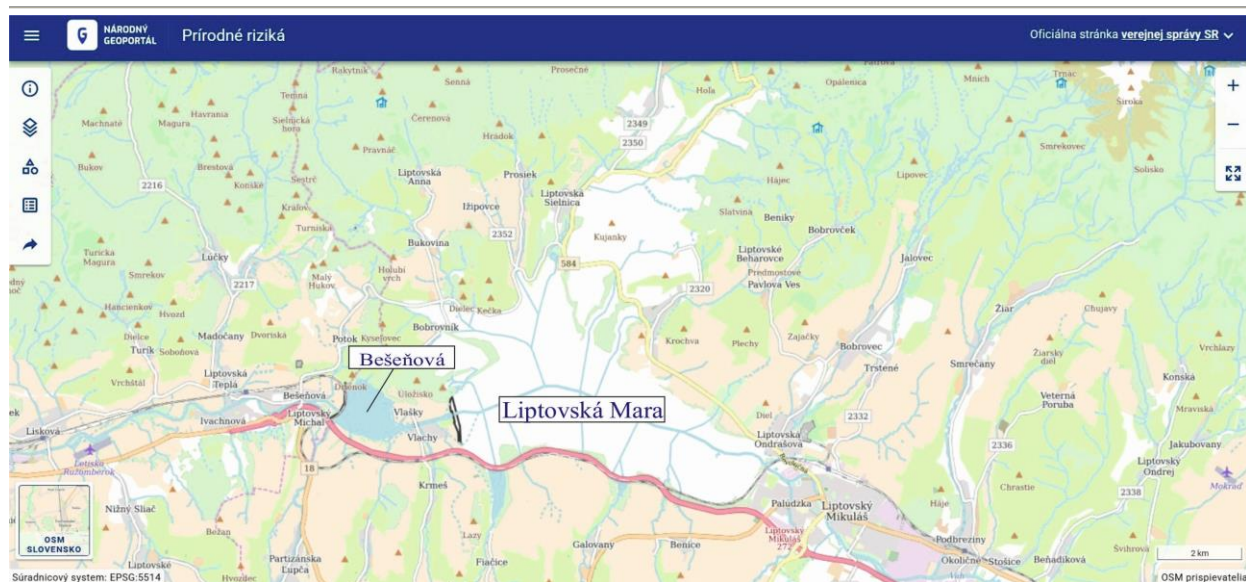
W obszarze wsparcia znajdziemy także inne zbiorniki wodne pełniące m.in. funkcje przeciwpowodziowe, jak Zbiornik Goczałkowicki na Wiśle (powiat pszczyński), Zbiornik Świnna Poręba na Skawie (powiat wadowicki), Zbiornik Dobczycki na Rabie (powiat myślenicki), Zbiornik Czorsztyński na Dunajcu (powiat nowotarski), Zbiornik Rożnowski na Dunajcu (powiat nowosądecki), Zbiornik Klimkowski (Klimkówka) na Ropie (powiat gorlicki), czy Solina na Sanie (powiat leski).

Po słowackiej stronie obszaru wsparcia także zastosowano tę metodę zapobiegania skutkom powodzi. Największe zaporowe zbiorniki retencyjne w tym obszarze to Zbiornik Orawski na Orawie z małym [zbiornikiem wyrównawczym Tvrdošín](#) (Žilinský kraj) i Liptovská Mara (Rycina 29) na Wagu z niewielkim zbiornikiem wyrównawczym Bešeňová (Žilinský kraj).

System gospodarki wodnej Liptovská Mara – Bešeňová, który działa nieprzerwanie od niemal 50 lat, skutecznie realizuje wszystkie założone cele (Bednárová E. *et al.*, 2021). Znajdujący się w północnej części środkowej Słowacji, w górnym odcinku rzeki Wag, został zbudowany w latach 1967-1975 i stanowi jedną z kluczowych struktur hydrotechnicznych w kraju. Jego główne zadania obejmują produkcję energii elektrycznej w szczytowych godzinach, kontrolę powodzi oraz poprawę przepływów rzeki Wag. Obie struktury hydrotechniczne maksymalnie wykorzystują potencjał energetyczny rzek, skutecznie redukując przepływy powodziowe oraz minimalizując ryzyko szkód spowodowanych przez powodzie. Wpływ eksploatacji na warunki odpływu poniżej zapory można przedstawić za pomocą krzywej prawdopodobieństwa dopływu do zbiorników ( $Q_p$ ) i odpływu do koryta rzeki poniżej zapory ( $Q_o$ ) (Lukáč *et al.*, 1991).

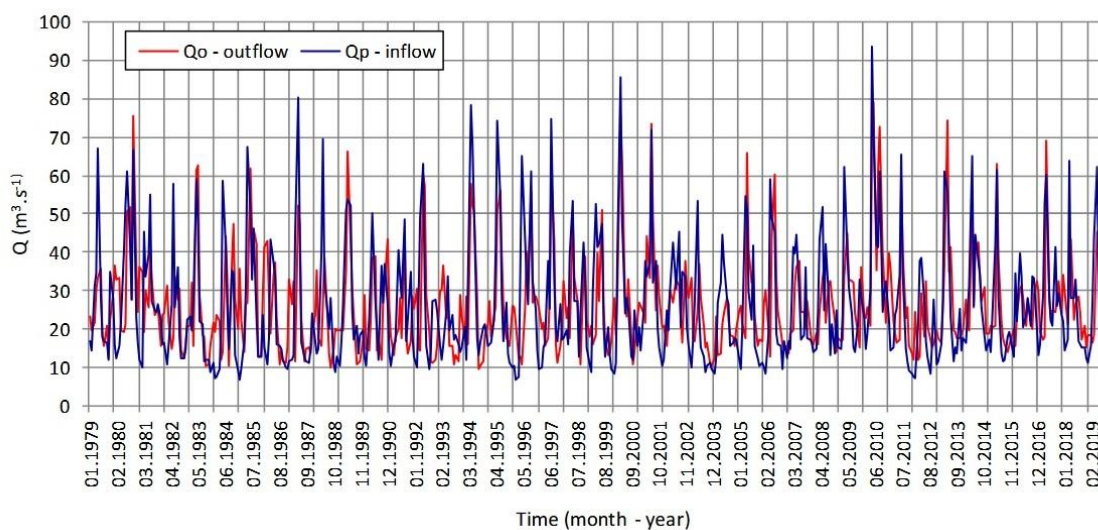
## Polska – Słowacja

**Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien**



Rycina 29. Położenie systemu zbiorników Liptovská Mara i Bešeňová (<https://geoportal.gov.sk>)

Rycina 30 przedstawia średnie miesięczne przepływy w miesiącach zimowych (I-II), w miesiącach wiosennych (IV-V), w miesiącach letnich (VII, VIII) i w miesiącach jesiennych (XI-XII). Analiza średniego miesięcznego przepływu pokazuje, że eksploatacja systemu gospodarki wodnej redystrybuuje je w ciągu roku (Bednárová E. *et al.*, 2021), co ma ogromne znaczenie w ograniczaniu skutków dużych wezbrań Wagu dla obszarów położonych poniżej strefy zbiorników.



## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Rycina 30. Wykres przedstawiający średnie miesięczne dopływy do zbiornika Liptovská Mara i odpływu do koryta rzeki poniżej zapory Bešeňová w latach 1979-2019 (Bednárová E. *et al.*, 2021).

### IV. Monitoring powodziowy (meteorologiczny i hydrologiczny)

#### A. Opis techniczny metody przeciwdziałania powodziom wraz założeniami teoretycznymi

**Monitoring powodziowy** to system ostrzegania przed powodzią wykorzystujący monitoring meteorologiczny i hydrologiczny. Polega na systematycznym i ciągłym pozyskiwaniu i analizowaniu informacji o opadach i poziomach wody w rzekach, w celu przewidywania wystąpienia ekstremalnych zjawisk hydrologicznych. Umożliwia trafne podejmowanie decyzji w sytuacjach kryzysowych, w tym dotyczących ratowania zdrowia i życia ludzi oraz ochronę ich mienia. Pomaga w ostrzeganiu przed zagrożeniem powodziowym, co ma wpływ na ograniczenie skutków dużych wezbrań.

Sz szczególnie niebezpieczne są powodzie błyskawiczne tzw. *flash floods*, wywołane intensywnymi opadami deszczu. W ich wykrywaniu biorą udział przede wszystkim satelity, radary i deszczomierze.

**Radary meteorologiczne** to zaawansowane urządzenia wykorzystywane do badań atmosferycznych, które umożliwiają wykrywanie, obserwowanie i analizowanie opadów oraz innych zjawisk pogodowych. Działają na zasadzie emisji fal radiowych i analizy ich odbicia od cząstek, takich jak krople wody czy kryształki lodu obecne w atmosferze.

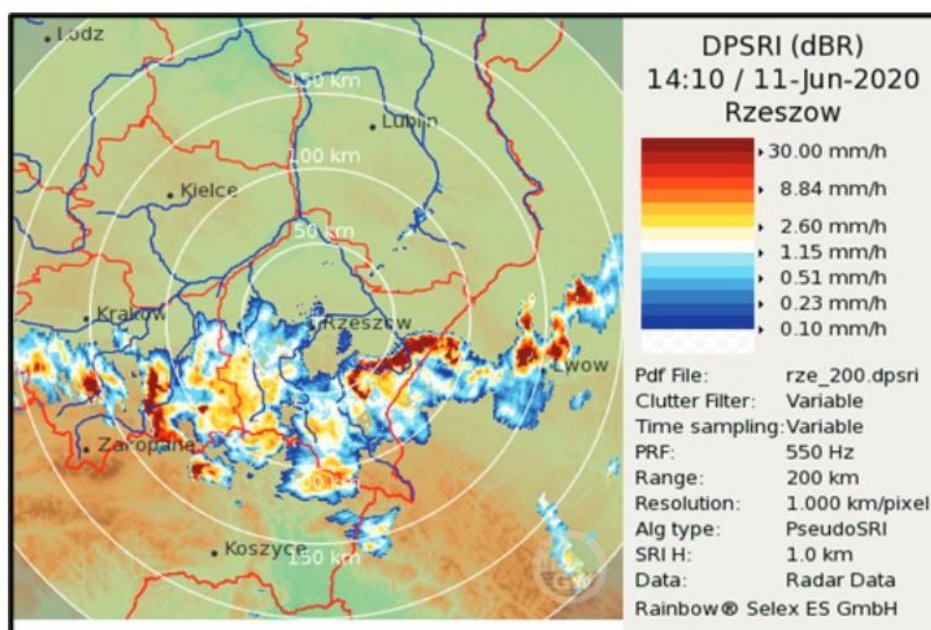
Antena radaru emituje strumień fal radiowych w kierunku atmosfery, które rozprzestrzeniają się w powietrzu z dużą prędkością. Gdy napotykają obiekty, takie jak krople deszczu, śnieg, grad czy nawet pył, część z tych fal zostaje odbita z powrotem do radaru. Siła odbicia zależy od wielkości, rodzaju oraz gęstości cząstek. Radar analizuje czas, jaki zajmuje falam powrót do źródła, co pozwala określić odległość do źródła opadów. Dodatkowo, zmiany w częstotliwości odbitego sygnału (efekt Dopplera) pozwalają ocenić prędkość oraz kierunek ruchu cząstek. Dane zbierane przez radar są przekształcane w wizualizacje, które przedstawiają intensywność i lokalizację opadów na kolorowych mapach. Dzięki tym obrazom badacze mogą dostrzegać nadciągające burze, fronty atmosferyczne czy opady deszczu, co umożliwia im ostrzeganie ludzi przed niebezpiecznymi

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

warunkami pogodowymi z odpowiednim wyprzedzeniem (<https://meteo.org.pl/radar-opadow-polska>).

Obecnie w Polsce działa osiem radarów meteorologicznych tworzących nową sieć POLRAD zarządzaną przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej — PIB (Rycina 31). Skanowanie atmosfery falą o podwójnej polaryzacji dostarcza wiele danych radarowych, które precyzyjnie opisują wykryte obiekty meteorologiczne, w tym rozmiary cząsteczek chmurowych i opadowych (Dzwonkowski i in., 2023).



Rycina 31. Natężenia opadu (DPSRI) 11 czerwca 2020 r. (14.10 UTC) z radaru w Rzeszowie-Jasionce (Dzwonkowski i in., 2023).

**Deszczomierze** są najdokładniejszym sprzętem pozwalającym na pomiar wysokości opadu w milimetrach. Obecnie są to często automatyczne deszczomierze, wyposażone w czujniki, które wykrywają obecność oraz ilość opadów. Często deszczomierze te są zintegrowane z rejestratorami danych lub systemami telemetrycznymi, co pozwala na efektywne monitorowanie i przesyłanie zebranych informacji.

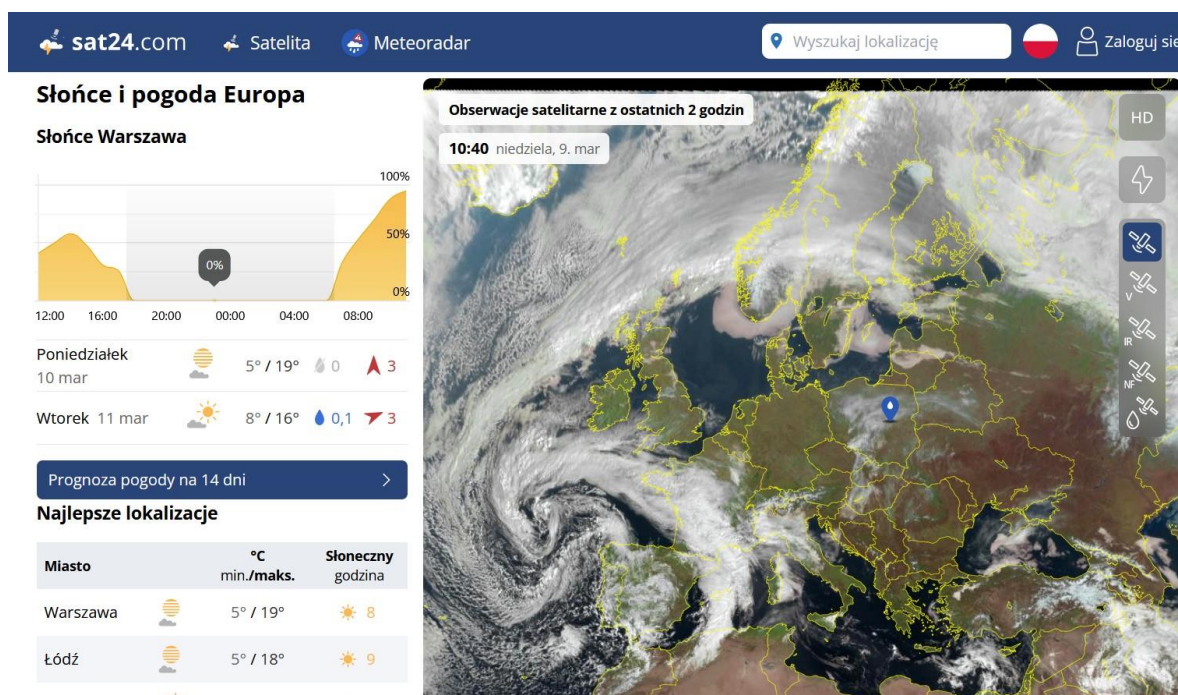
**Satelity meteorologiczne** od samego początku odgrywają kluczową rolę w systemie obserwacyjnym i pomiarowym dla meteorologii oraz hydrologii. W miarę jak rozwijają się

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

technologie czujników satelitarnych, nieustannie udoskonalane są metody odbioru, przetwarzania, dystrybucji oraz interpretacji danych pochodzących z satelitów (Rycina 32).

Satelity pogodowe dzielą się na dwie główne kategorie: orbitujące wokół biegunów oraz satelity geostacjonarne. Oba te systemy mają swoje wyjątkowe cechy i generują różne typy danych. Satelity krążące wokół biegunów, poruszające się na orbitach w kierunku północ-południe, obserwują ten sam punkt na Ziemi dwa razy dziennie – raz w ciągu dnia i raz w nocy. Przekazują one obrazy i sondowania atmosferyczne dotyczące temperatury i wilgotności na całej Ziemi. Satelity geostacjonarne znajdują się na orbicie około 36 000 km nad równikiem, obracają się z tą samą prędkością co Ziemia i stale koncentrują się na tym samym obszarze. Dzięki temu satelita może robić zdjęcie Ziemi w tym samym miejscu co 30 minut (<https://www-weather-gov>) (Rycina 33, 34).



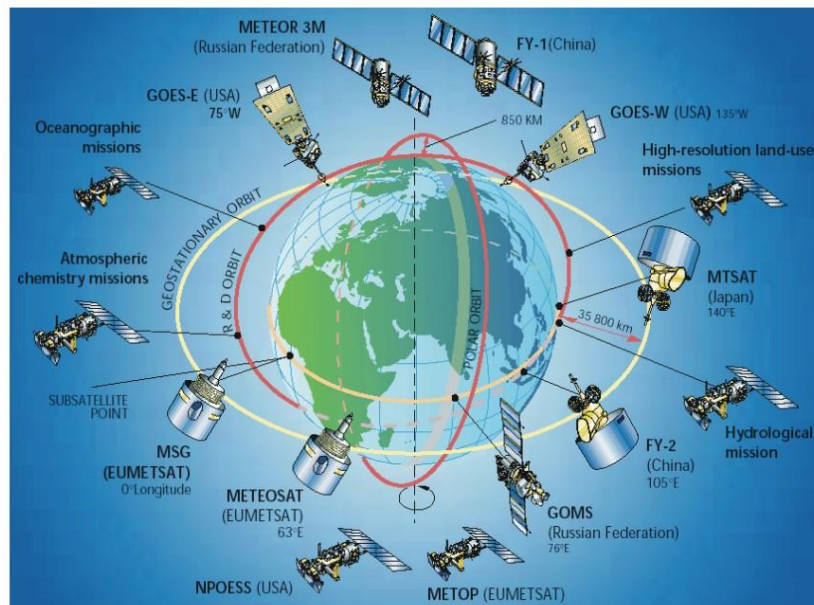
Rycina 32. Przykład obrazu satelitarnego ukazującego warstwę chmur nad Europą, (<https://www.sat24.com/pl-pl>).

Ogromną bazę danych satelitarnych wykorzystywanych w modelowaniu meteorologicznym posiada amerykańska NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), zapewniająca dostęp do globalnych danych środowiskowych z satelitów. W Europie działa Europejska Organizacja Eksploatacji Satelitów Meteorologicznych (EUMETSAT) powstała w 1986 r. w celu

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

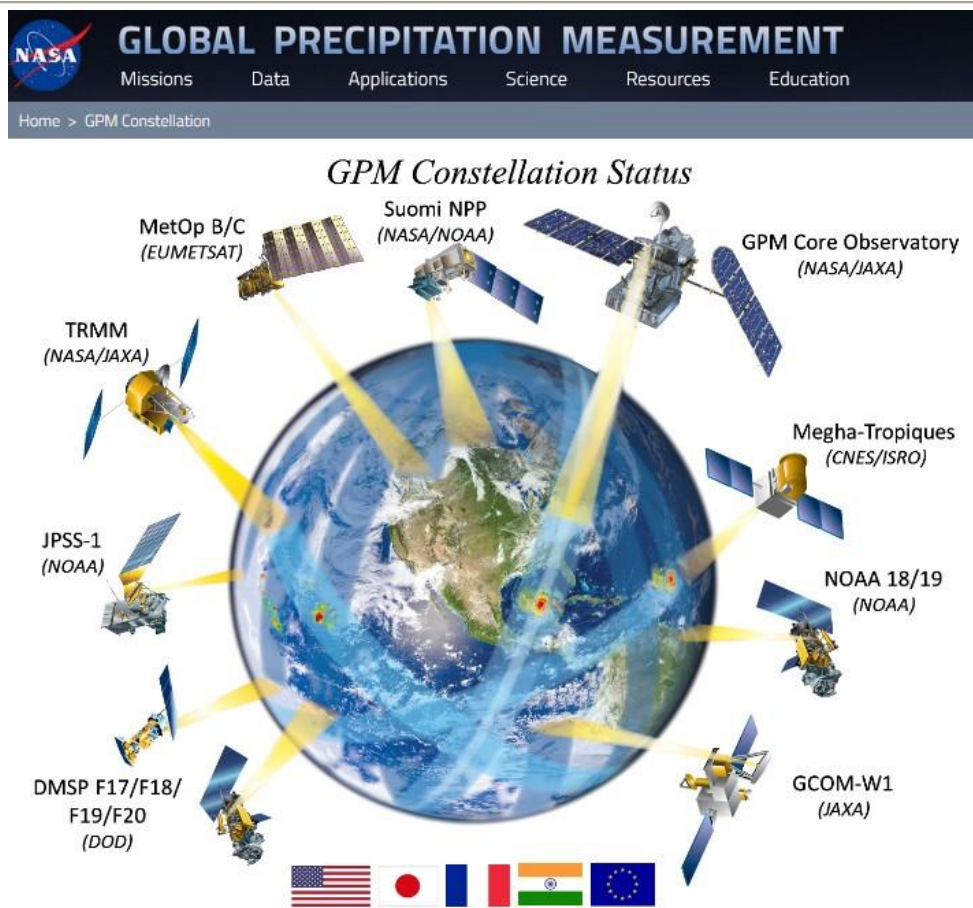
zapewnienia ciągłości funkcjonowania satelitarnego systemu obserwacyjnego dla meteorologii i klimatologii krajów Europy (<https://polsa.gov.pl/aktywnosci/badania-i-innowacje/eumetsat>).



Rycina 33. Globalny system satelitów meteorologicznych (Struzik P., 2008).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



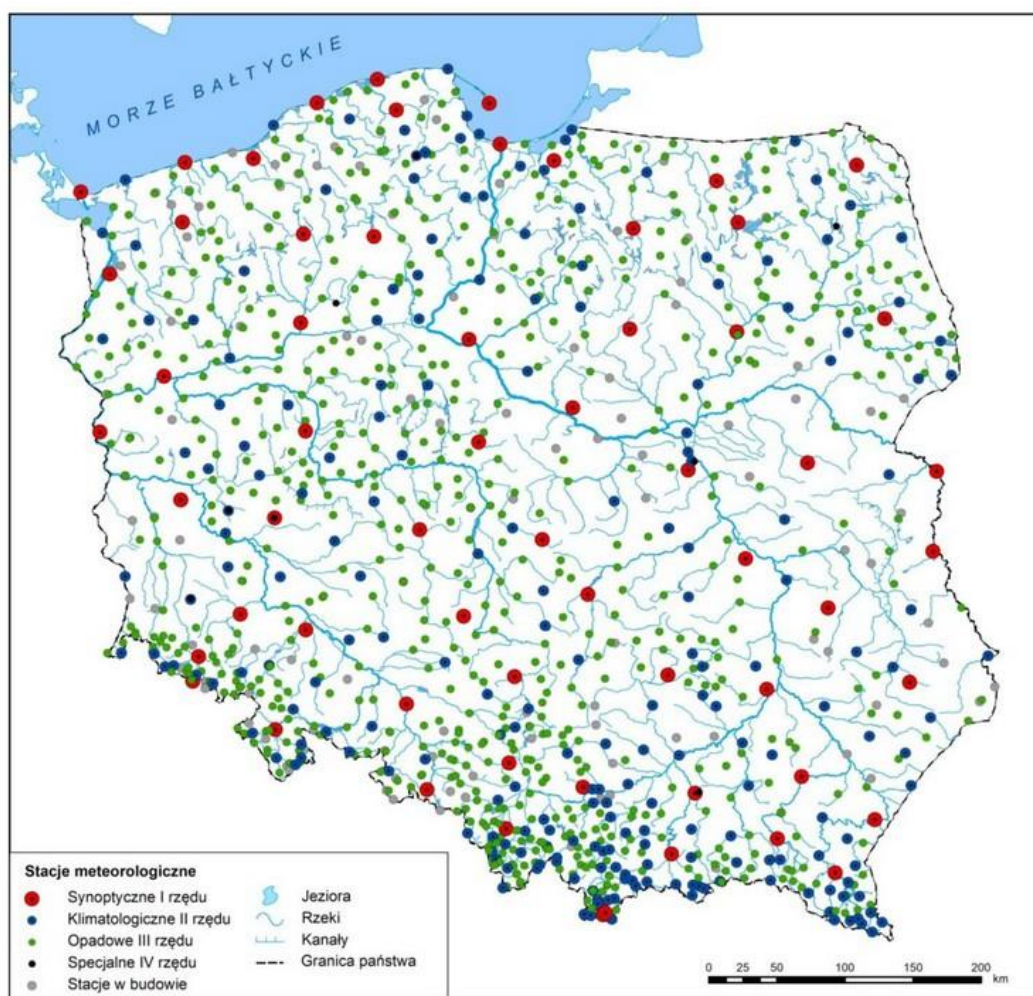
Rycina 34. Ilustracja przedstawiająca liczne satelity mierzące opady, które wchodzi w skład konstelacji GPM (Global Precipitation Measurement), <https://gpm.nasa.gov/image-gallery/gpm-constellation>, dostęp grudzień 2024.

Monitoringiem meteorologicznym w Polsce zajmuje się Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Instytut Badawczy. Obecnie (listopad 2024) meteorologiczna sieć pomiarowo-obszaryjowa IMGW-PIB sieć składa się z 981 stacji, w tym 63 stacji synoptycznych, 220 stacji klimatologicznych, 690 stacji opadowych oraz 8 stacji specjalnych (Rycina 35). Trwa jej rozbudowa i modernizacja w ramach projektu ochrony przeciwpowodziowej w dorzeczu Odry i Wisły (POPDOW). W efekcie do 2025 r. IMGW-PIB będzie dysponował ponad tysiącem stacji, z których ok. 70% wyposażony w automatyczne urządzenia pomiarowe oraz telemetryczny system przesyłu danych (<https://imgw.pl>).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Z punktu widzenia ochrony przeciwpowodziowej najważniejszymi elementami monitoringu hydrologicznego są stałe obserwacje stanów i przepływów wód, głównie na stacjach wodowskazowych.



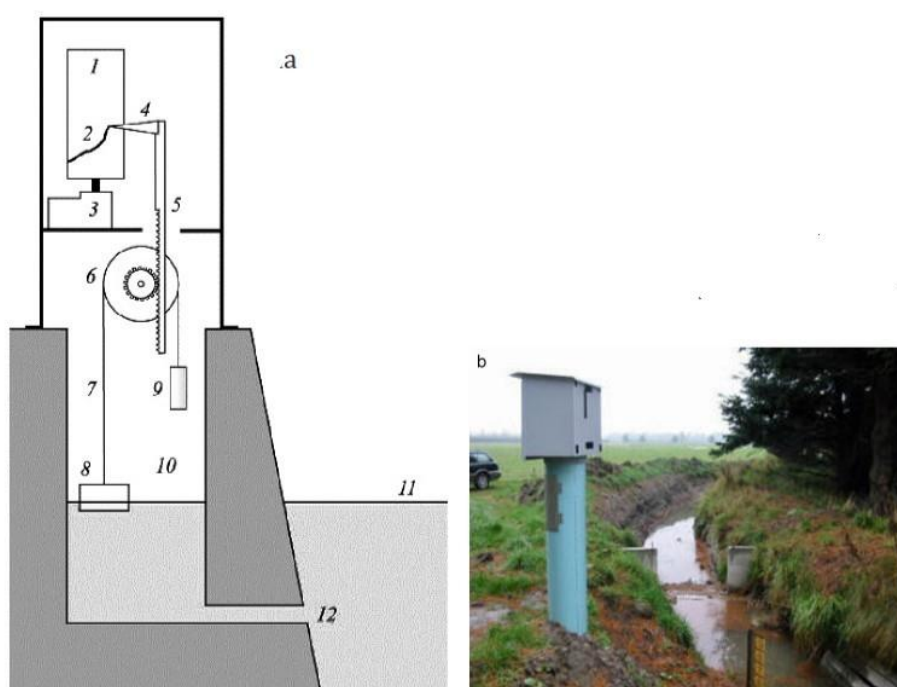
Rycina 35. Meteorologiczna sieć pomiarowo-obszaryjny IMGW-PIB (<https://imgw.pl/strona-glowna/osrodki-i-stacje>).

**Stan wody** informuje o wzniesieniu zwierciadła wody ponad umownie przyjęty poziom zwany „zerem wodowskazu”. W Polsce sieć wodowskazowa odniesiona jest obecnie do poziomu morza w

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Kronsztadzie (Rosja). Na podstawie wieloletnich pomiarów można określić charakterystyczny rozkład stanów wody dla danej rzeki w danym miejscu. Wyznacza się wówczas następujące strefy stanów wody: niskich, średnich, wysokich, stan ostrzegawczy, stan alarmowy. Pomiarów dokonujemy za pomocą łaty wodowskazowej lub rejestrujemy za pomocą różnego rodzaju urządzeń np. limnigrafów (Rycina 36).



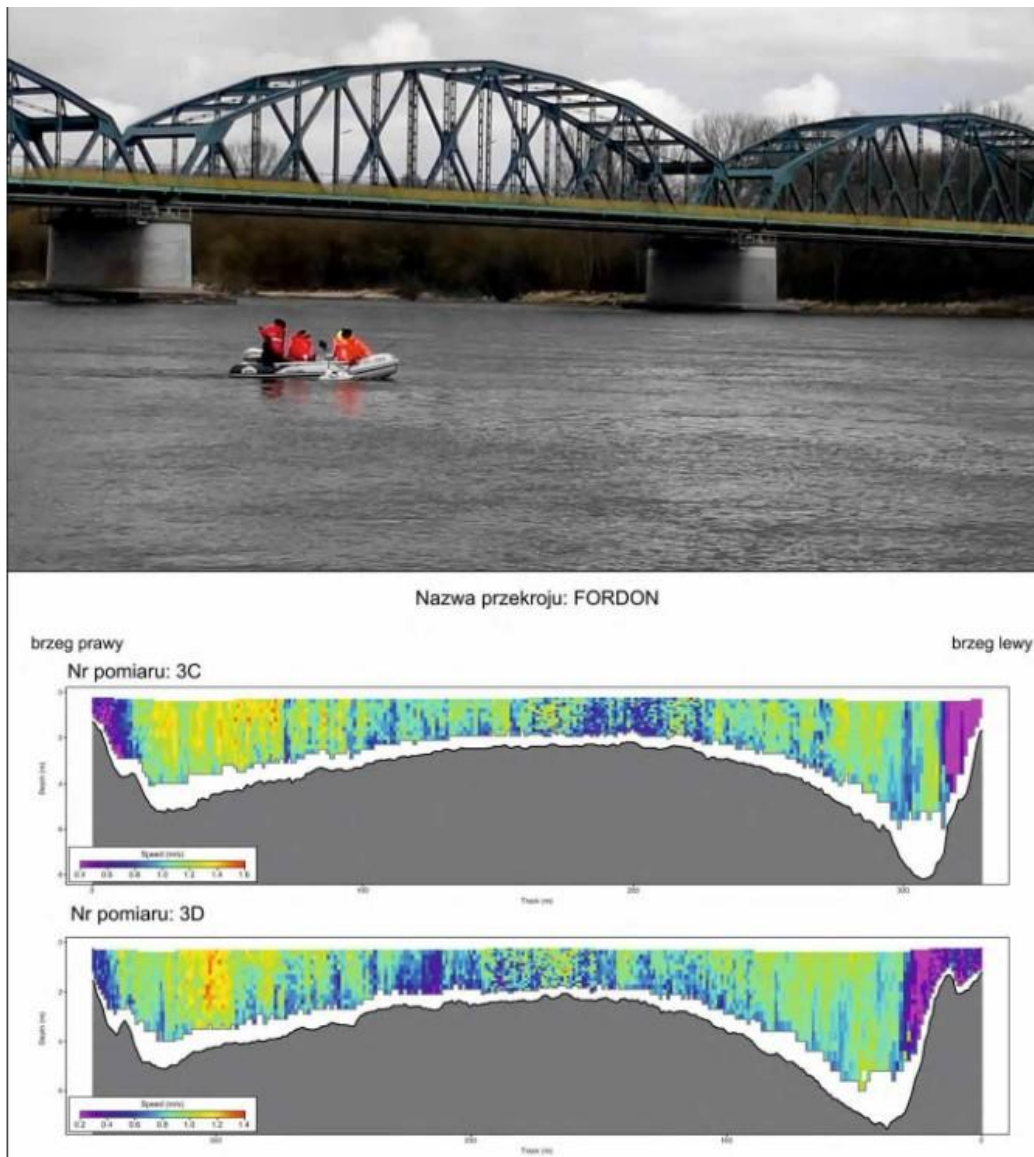
Rycina 36. Schemat działania limnigrafu a: 1 – bęben, 2 – zapis, 3 – mechanizm zegarowy, 4 – wodzik z piórem, 5 – pręt zębata, 6 – koło zębata, 7 – drut, 8 – pływak, 9 – obciążnik, 10 – studnia pomiarowa, 11 – poziom wody, 12 – rura łącząca o małym przekroju; b: przykład limnigrafu przy zastawce na rowie melioracyjnym (Kaca, Kubrak 2020).

Przepływ wody (natężenie przepływu) to ilość wody przepływająca przez przekrój poprzeczny koryta w jednostce czasu (podawany w m<sup>3</sup>/s lub l/s). Przepływy w korytach otwartych mierzy się przy pomocy metod bezpośrednich (wolumetryczna, fizyczna, chemiczna) oraz pośrednich (punktowa za pomocą młynka hydrometrycznego, odcinkowa z wykorzystaniem pływaków). Najbardziej rozpowszechnianą i popularną metodę stanowił pomiar przepływu za pomocą młynka hydrometrycznego. W ostatnich latach w pomiarach tych wykorzystuje się także nowoczesne

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

metody, w tym akustyczne (prędkościomierze akustyczne, Rycina 37) i elektromagnetyczne (prędkościomierze elektromagnetyczne) (Absalon i in., 2015; Wójcik i Wdowikowski, 2014).

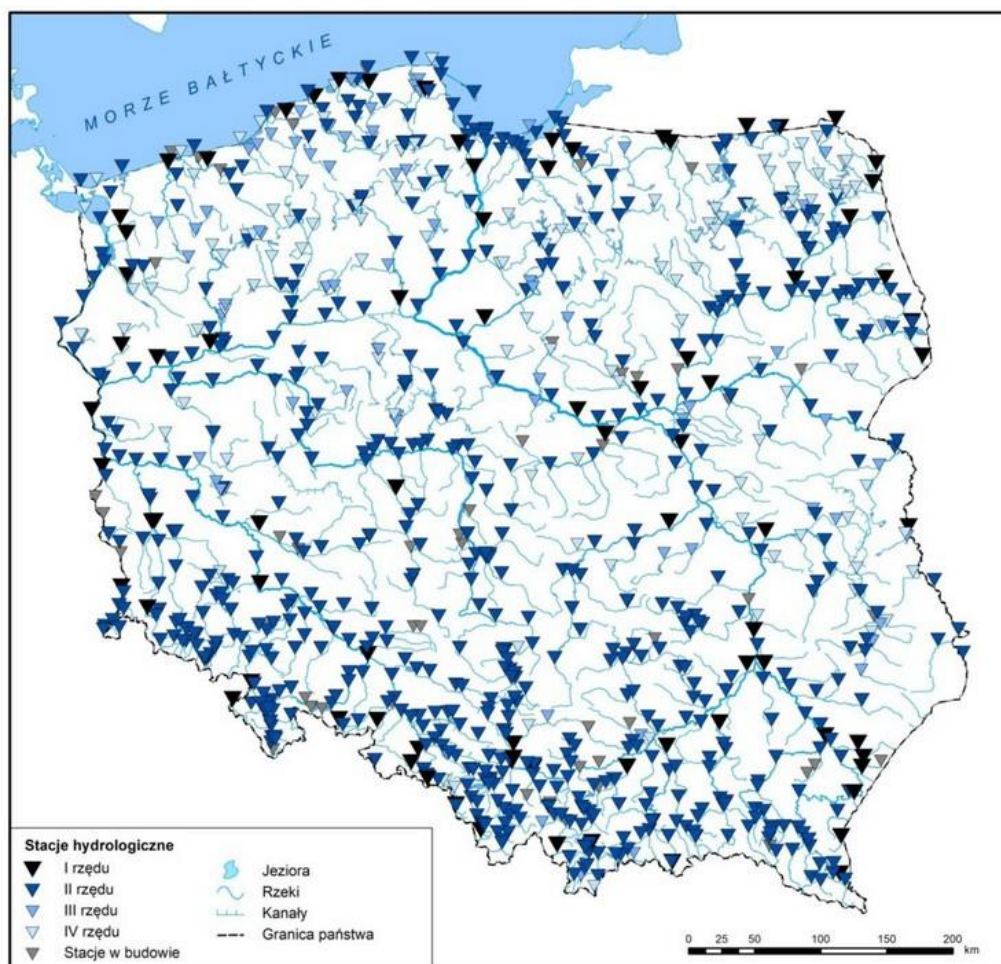


Rycina 37. Pomiary przepływu na rzece Wiśle metodą hydroakustyczną. Na górnej fotografii przebieg pomiaru, poniżej wykres rozkładu prędkości wody w badanym przekroju (Absalon, 2018).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Również monitoringiem hydrologicznym w Polsce zajmuje się Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Instytut Badawczy. Sieć pomiarowo-obszaryjowa w listopadzie 2024 roku składa się z 905 stacji, w tym 82 stacji utrzymywanych na potrzeby obliczania bilansu wodnego Polski, 634 automatycznych stacji z ciągłą transmisją danych, 73 automatycznych stacji bez ciągłej transmisji oraz 116 stacji, w których pomiary prowadzone są wyłącznie manualnie przez obserwatora (Rycina 38). W 2025 r. sieć ta zostanie rozbudowana i unowocześniona, czego efektem będzie 950 stacji, z czego ok. 92% będzie posiadać automatyczne urządzenia pomiarowe oraz telemetryczny system przesyłu danych (<https://imgw.pl>).



Rycina 38. Hydrologiczna sieć pomiarowo-obszaryjowa IMGW-PIB (<https://imgw.pl/strona-glowna/osrodki-i-stacje>).

### B. Opis wad i zalet metody

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Niewątpliwą zaletą prowadzonego monitoringu powodziowego jest zbieranie danych, które pozwalają na tworzenie bieżących, dokładnych prognoz hydrologicznych. Wywiera także wpływ na możliwość przewidywania i modelowania przyszłych powodzi. Pozyskiwanie coraz dokładniejszych danych jest związane z rozwojem nowoczesnych metod pomiarowych.

Rozwój techniki pomiarowej w zakresie pozyskiwania danych radarowych wymusza również zmiany w dotychczas stosowanych procedurach obliczeniowych. Wprowadzone w ostatnich latach do sieci POLRAD nowoczesne radary z podwójną polaryzacją fali elektromagnetycznej dostarczają nieosiągalnych dotychczas danych o strukturze chmur (Dzwonkowski i in., 2023). Kluczowe jest opracowanie metodyki przetwarzania uzyskiwanych danych radarowych, która pozwoli na otrzymanie zarówno jakościowego, jak i ilościowego opisu stref zachmurzenia z występującym opadem atmosferycznym.

Problemem w pozyskiwaniu precyzyjnych danych radarowych są zakłócenia fałszujące te dane, pochodzące m.in. urządzeń wykorzystujących częstotliwość radarową, w tym z nadajników do bezprzewodowej transmisji danych (Internet). Wymusza to rozwój coraz lepszych systemów filtrujących zakłócenia w celu polepszenia jakości uzyskiwanych danych (Tuszyńska, 2015).

System monitoringu powodziowego obejmuje wiele stacji pomiarowych. Konieczność dostępu do danych w czasie rzeczywistym wymusza zmianę tradycyjnego sposobu pozyskiwania danych (np. pomiary ręczne, odczyty obserwatora) na nowoczesne urządzenia, umożliwiające odczyt i przesył danych na odległość (tzw. czujniki telemetryczne). Przy gęstej sieci pomiarowej, bardzo korzystnej z punktu widzenia jakości powstających prognoz meteorologicznych czy hydrologicznych, znacznym kosztem jest ich zainstalowanie i późniejsza kontrola ich funkcjonowania.

Ogromną zaletą zbieranych danych jest ich powszechna dostępność dzięki upublicznieniu ich za pomocą stron internetowych.

### C. Ocena przydatności zastosowania metody

Metoda ta należy do podstawowych narzędzi wykorzystywanych do przeciwdziałania skutkom powodzi. Efekty krajowego monitoringu powodziowego są dostępne i wykorzystywane przez jednostki samorządowe w całej Polsce i na Słowacji.

Monitoring powodziowy jest bardzo ważną metodą pozwalającą zwiększyć bezpieczeństwo mieszkańców obszarów o szczególnym zagrożeniu powodziowym. Ma on na celu uprzedzenie o zagrożeniu. Dzięki powiadamianiu/alarmowaniu odpowiednich służb w gminach/powiatkach, możliwe jest szybkie wdrożenie procedur zaradczych, zmierzających do ograniczenia skutków

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

wezbrania. Dobre zarządzanie kryzysowe pozwala służbom ratunkowym na skuteczniejsze planowanie działań oraz optymalne rozmieszczenie środków ratunkowych.

Do podstawowych obowiązków IMGW-PIB jest zamieszczanie na stronie internetowej informacji o aktualnej sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce, z uwzględnieniem ostrzeżeń hydrologicznych i meteorologicznych. Wydawane są komunikaty i ostrzeżenia hydrologiczne i meteorologiczne. W ostrzeżeniach podaje się informacje o rodzaju ostrzeżenia, stopniu zagrożenia hydrologicznego, prognozowanych zjawiskach, czasie wystąpienia niebezpiecznego zjawiska, obszarze, przebiegu i prawdopodobieństwie wystąpienia zjawiska. Ostrzeżenia hydrologiczne tworzone są przy użyciu dedykowanego oprogramowania i dostarczane do odpowiednich odbiorców przez systemy dystrybucji IMGW-PIB. Ostrzeżenia publikowane są na portalach internetowych [meteo.imgw.pl](http://meteo.imgw.pl), [hydro.imgw.pl](http://hydro.imgw.pl), [baltyk.imgw.pl](http://baltyk.imgw.pl). (źródło: IMGW-PIB).

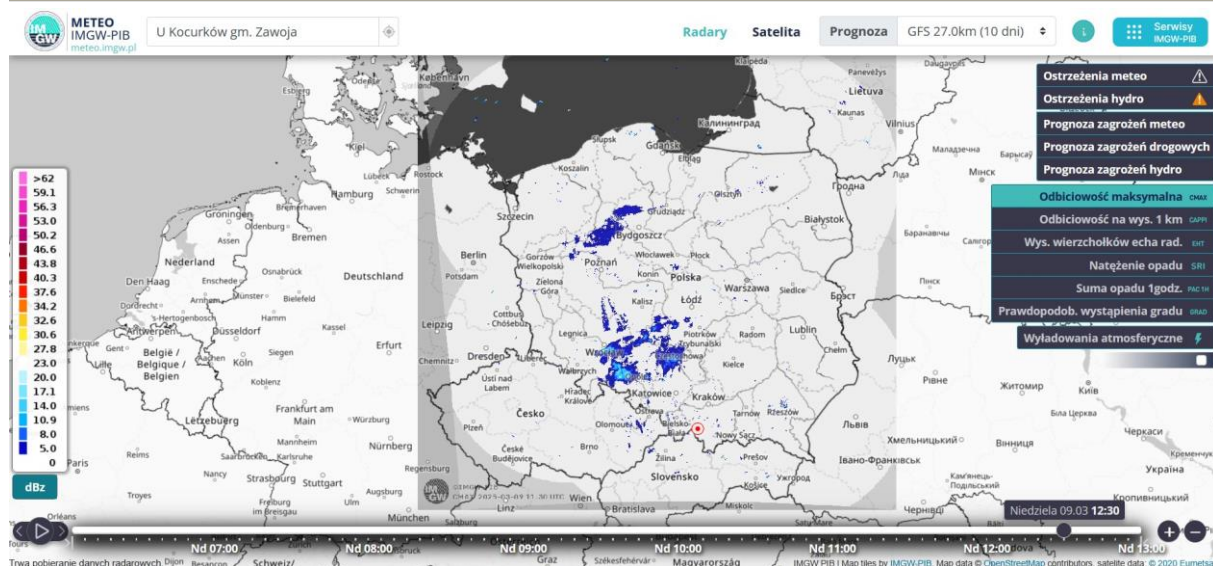
Należy dążyć do rozbudowy systemu monitoringu powodziowego jako podstawy systemów wczesnego ostrzegania o zagrożeniach.

### D. Przykłady zastosowania metody w celu przeciwdziałania powodziom z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia

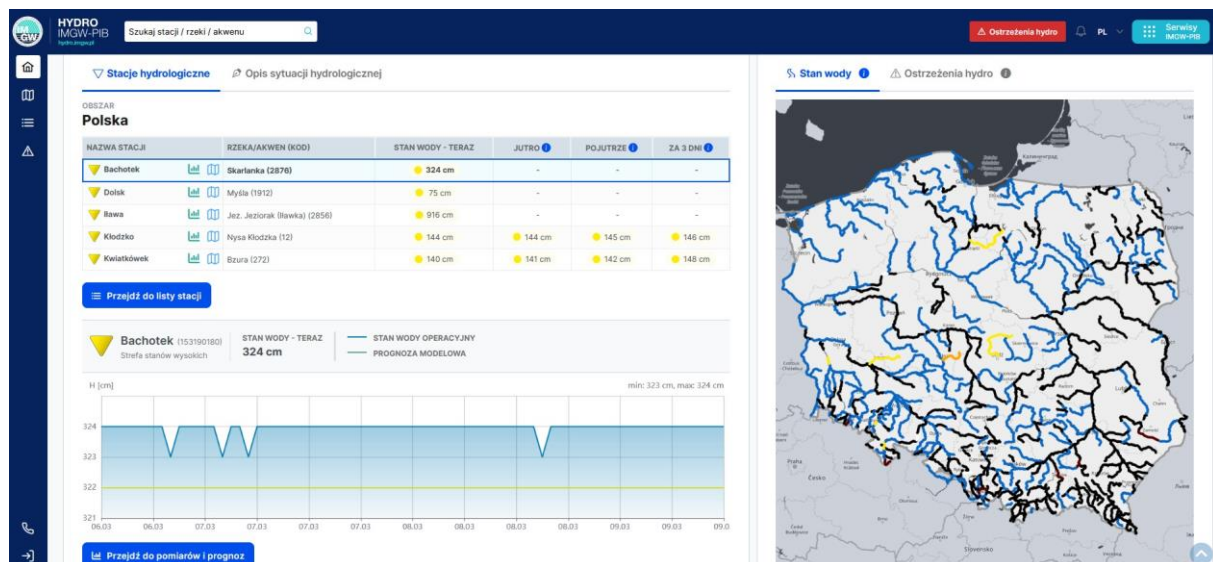
Gminy i powiaty położone w polskiej części obszaru wsparcia projektu mogą korzystać z informacji dotyczących monitoringu powodziowego zawartych w portalu internetowym Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej tj. Hydro IMGW-PIB (<https://hydro.imgw.pl>) i Meteo IMGW-PIB (<https://meteo.imgw.pl>). Przykładowe obrazy wygenerowane ze wspomnianych portali przedstawiają ryciny 39 i 40. Podobnie krajowa służba hydrometeorologiczna (Slovenský hydrometeorologický ústav- SHMÚ) na terenie Słowacji prezentuje na swojej stronie internetowej m.in. dane opadowe i sytuację hydrologiczną w dorzeczach leżących m.in. w strefie wsparcia projektu (Rycina 41).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*



Rycina 39. Monitoring opadów – mapa radarowa dostępna na portalu Meteo IMGW-PIB. Warstwy zawierają także informacje o zagrożeniach meteorologicznych oraz ich prognozę.



Rycina 40. Monitoring stanów wód dostępny w portalu Hydro IMGW-PIB. Warstwy portalu internetowego zawierają dane o poszczególnych stacjach wodowskazowych oraz aktualny stan wód wraz z wykresem jego zmian. Dostępne są także informacje o bieżących zagrożeniach hydrologicznych.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

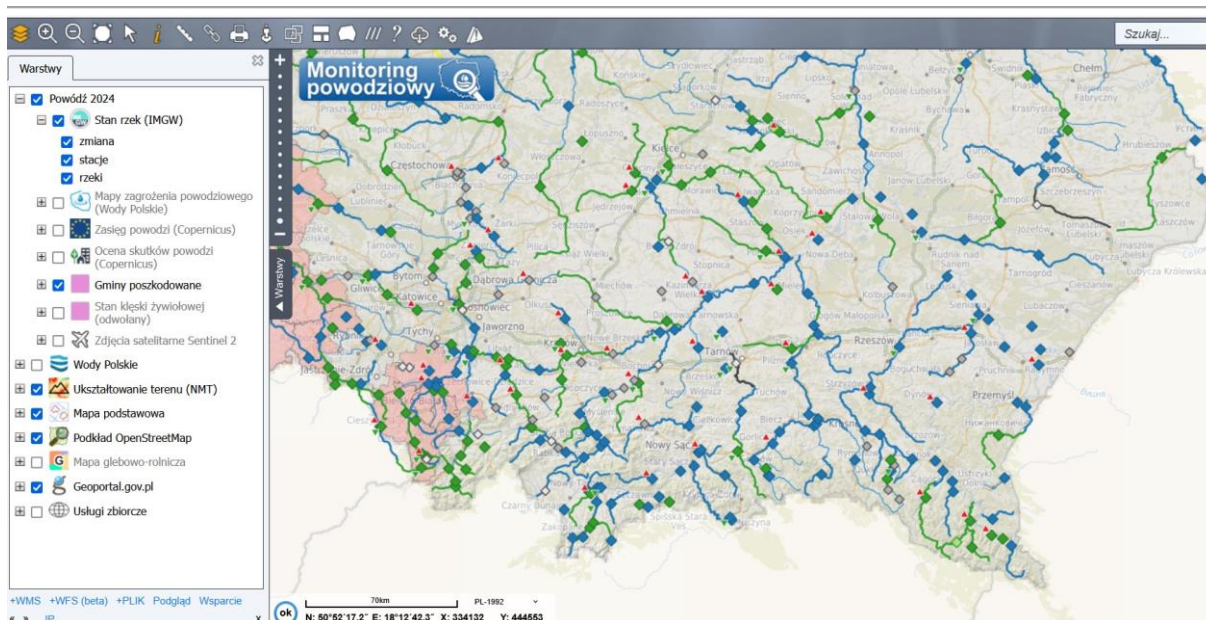
The screenshot shows the SHMÚ (Slovenský hydrometeorologický ústav) website. The main navigation bar includes 'O SHMÚ', 'Produkty SHMÚ', 'Projekty SHMÚ', and 'Kontakt'. A search bar is present with the text 'zadajte hľadajú text...' and a 'Hľadať' button. A yellow banner at the top reads 'SHMÚ vydal meteorologické výstrahy - 1. stupeň'. Below this is another yellow banner: 'Informácia o smogovej situácii'. The main content area has a navigation menu with categories: 'Meteorologické spravodajstvo', 'Hydrologické spravodajstvo', 'Spravodajstvo kvality ovzdušia', and 'Klimatologické spravodajstvo'. Under 'Hydrologické spravodajstvo', there are sub-menus for 'Hydrologická situácia a vývoj', 'Vodomerne stanice', 'Zrážkomerné stanice', 'Monitoring sucha', 'Kvalita vôd', and 'CHVO'. The 'Monitoring sucha' sub-menu is active, showing options for 'Monitoring sucha na Slovensku', 'Meteorologické sucho', 'Hydrologické sucho', 'Podzemné vody a výskyt sucha', and 'Pôdne sucho'. The main heading is 'Hydrologické sucho'. There are two tabs: 'M-denné prietoky' (selected) and 'Mesačné prietoky'. The date is set to '20.11.2024' and the station is 'Hniezdne - Kamenka (8300)'. There are checkboxes for 'Zobrazíť rieky' (checked) and 'Zobrazíť povodia'. A text block explains that the M-dennost is determined by comparing current values with long-term M-dennost values from 1961-2000. Below the text is a map of the region with a hydrograph overlay for the 'Zákamenné (5795)' station. The hydrograph shows a significant peak in precipitation on 20.11.2024, with an M-dennost of 180-270 mm. The map also shows various monitoring stations marked with colored dots.

Rycina 41. Monitoring stanów wód dostępny w portalu słowackiej służby hydrometeorologicznej SHMÚ (<https://www.shmu.sk>). Po wskazaniu wybranej stacji wodowskazowej można wyświetlić hydrogram stanów wody w danym dniu.

Gminy i powiaty w obszarze wsparcia korzystają także z informacji pochodzących z monitoringu powodziowego dostępnego na portalach e-mapa.net (Rycina 42). Źródłem danych aktualizowanych co godzinę jest baza IMGW-PIB. Wykorzystanie tego narzędzia jest szczególnie cenne, gdy ze względu na dużą ilość wejść na stronę Instytutu, jego serwery odpowiadają z opóźnieniem.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

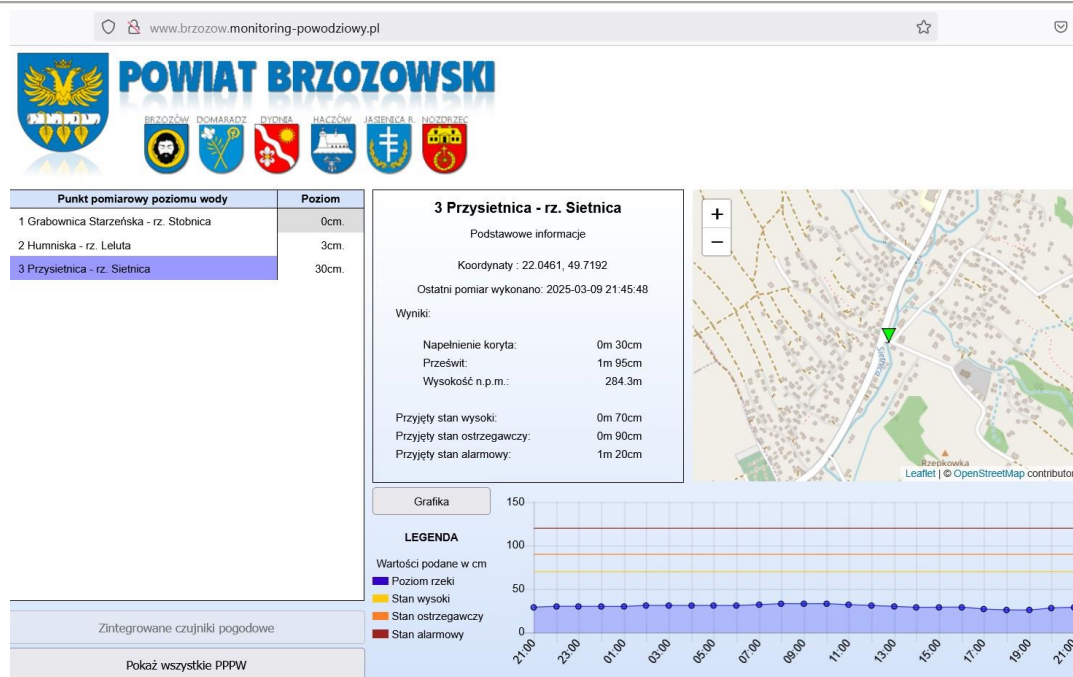


Rycina 42. Monitoring powodziowy na bazie danych IMGW-PIB prezentowany na stronie <https://powodz.e-map.net/>. Wyświetla informacje o gminach, które ucierpiały podczas powodzi w 2024 roku (różowa barwa).

Niektóre powiaty zdecydowały się na uruchomienie dla swoich mieszkańców lokalnego systemu monitoringu powodziowego, na którego środki pochodziły z ich budżetów lub uzyskały dofinansowanie z innych instytucji. Przykładem może być powiat brzozowski ([www.brzozow.monitoring-powodziowy.pl](http://www.brzozow.monitoring-powodziowy.pl)) (Rycina 43).

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

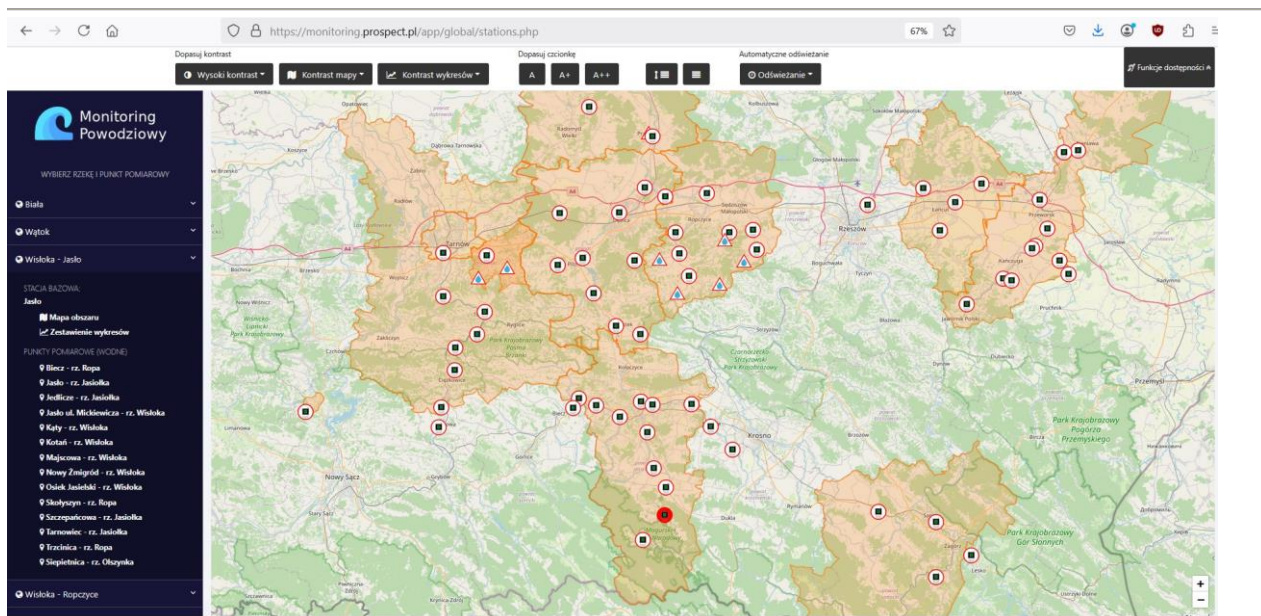


Rycina 43. Strona powiatu brzozowskiego, prezentująca aktualne stany wód rzek Stobnicy, Leluty i Sietnicy.

Niektóre powiaty korzystają z systemu monitoringu powodziowego dostarczany przez firmę RWD PROSPECT z Tarnowa (<https://monitoring.prospect.pl>). System ten obejmuje już 110 stacji pomiarowych poziomu wody i opadów. Monitorowaniem objęte są m.in. obszary powiatów sanockiego, jasielskiego, czy przeworskiego (Rycina 44, 45).

## Polska – Słowacja

**Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien**



Rycina 44. Rozmieszczenie stacji pomiarowych systemu monitoringu powodziowego wybranych powiatach (<https://monitoring.prospect.pl>).

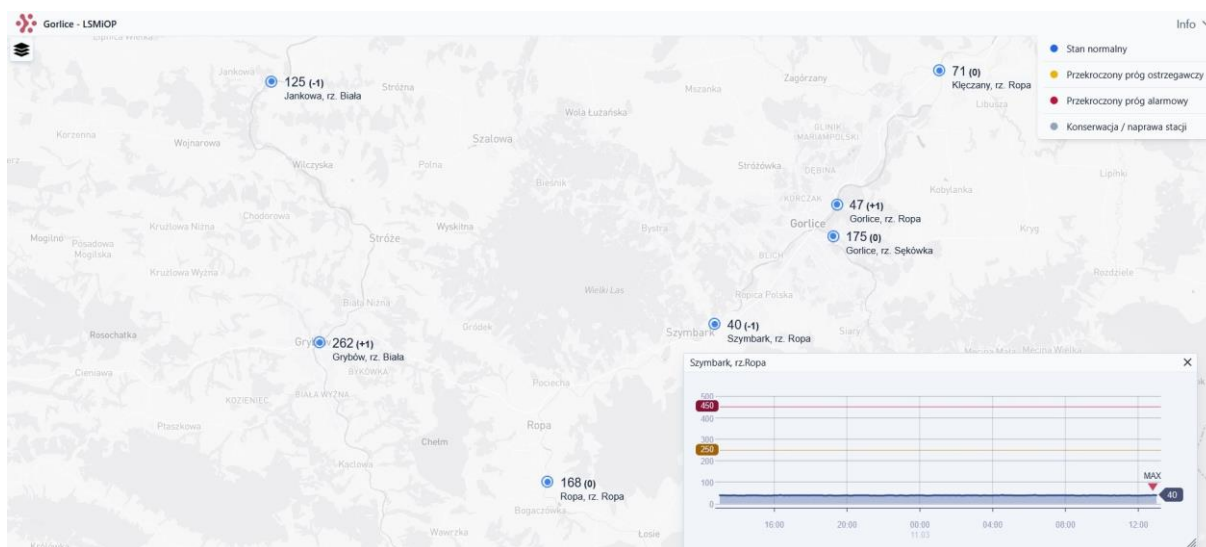


Rycina 45. Przykład prezentacji danych w systemie monitoringu powodziowego (<https://monitoring.prospect.pl>). Po kliknięciu na wybraną stację pomiarową wyświetlają się: stan wody, przekrój koryta rzeki, zdjęcie punktu pomiarowego, dobowy wykres historii pomiarów w czasie oraz prognozę. Dostępny jest także przegląd pomiarów historycznych.

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Z lokalnego systemu monitoringu powodziowego korzysta także powiat gorlicki. Dostępny jest na stronie <http://m-monitoring.com/gorlice/>, prowadzonej przez firmę MARIKO Smart Solutions. Prezentuje aktualny stan wód wraz z informacją o jego ostatnich zmianach i wyświetla hydrogram, na którym zaznaczono wysokość stanu ostrzegawczego i alarmowego dla danego wodowskazu (Rycina 46). System wykorzystuje telemetryczne stacje pomiarowe monitorujące poziom wód na bieżąco.



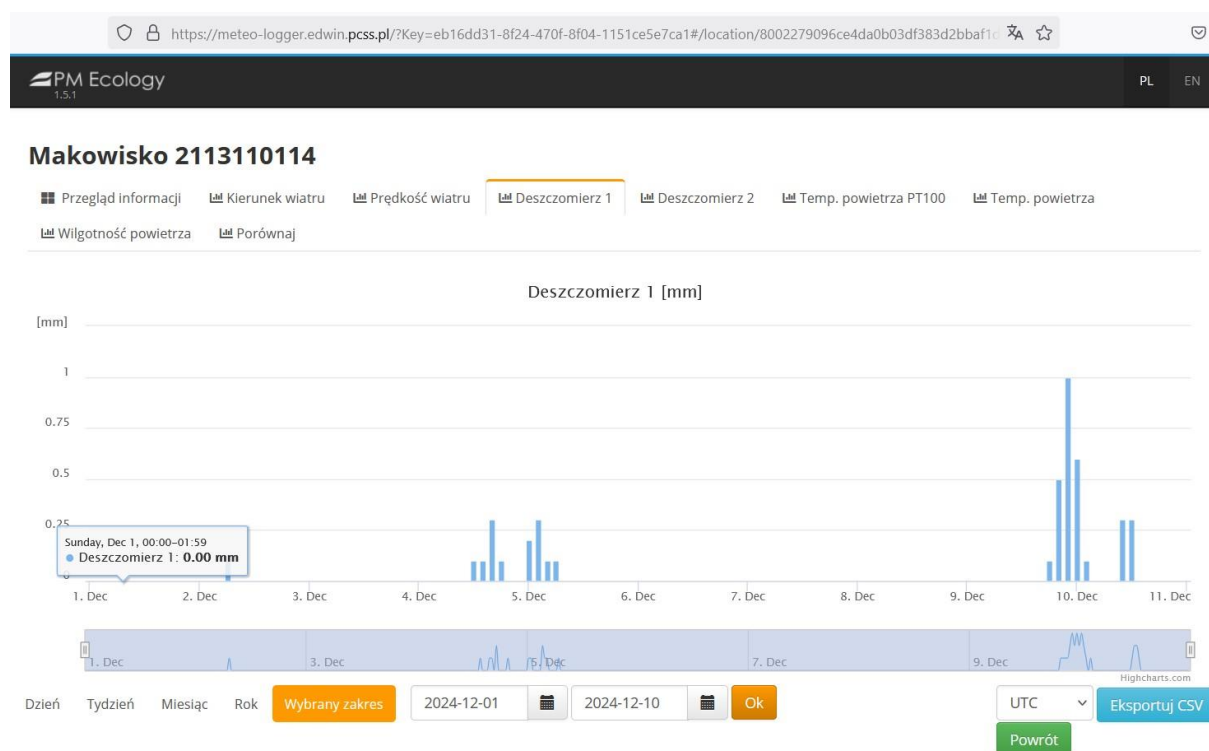
Rycina 46. Strona monitoringu powodziowego LSMiOP powiatu gorlickiego (<http://m-monitoring.com/gorlice/>).

W obszarze wsparcia dostępne są także efekty realizowanych projektów, zawierające m.in. dane opadowe. Na przykład w ramach projektu "Internetowa Platforma Doradztwa i Wspomagania Decyzji w Integrowanej Ochronie Roślin" (eDWIN) udostępniono dane pochodzących z stacji meteorologicznych zamontowanych na terenie województwa podkarpackiego. Stacje te to precyzyjne narzędzia do prowadzenia ciągłych pomiarów meteorologicznych. Każda stacja została wyposażona w zestaw sensorów, które dokonują pomiarów temperatury i wilgotności powietrza, a także rejestrują ilość opadów oraz kierunek i prędkość wiatru. Zebrane dane są przesyłane za pomocą technologii GSM i udostępnione przez przeglądarkę internetową (<https://podrb.pl/edwin/lokalizacja-stacji-meteorologicznych-na-podkarpaciu>). Dostępne są dane

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

opadowe ze stacji meteorologicznych z 20 powiatów województwa podkarpackiego, z czego znaczna część jest położona w obszarze wsparcia projektu (Rycina 47).



Rycina 47. Opady ze stacji meteorologicznej Makowiska, powiat jarosławski (<https://meteo-logger.edwin.pcss.pl>).

## LITERATURA

Absalon D., 2018. Nowoczesne metody monitoringu wód powierzchniowych. Monografie Śląskiego Centrum Wody, t.1 Aktualne problemy gospodarki wodnej, 71-82

Absalon D., Kubiciel P., Matysik M., Ruman M., 2015. Nowoczesne metody pomiaru przepływu w rzekach. Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, t.3, 28-43

Bednarczyk S., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E., 2006. Vademecum ochrony przeciwpowodziowej. KZGW, Gdańsk

## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

Bednárová E., Škvarka J., Václavík P., Poórová J., 2021. Water management system Liptovská Mara – Bešeňová in the context of climate change. Acta Hydrologica Slovaca 22, 1: 5 – 21

**Dorzecze Wisły: monografia powodzi maj - czerwiec 2010, pod red. M. Maciejewskiego, M. S. Ostojkiego, T. Walczykiewicza. IMGW-PIB, Warszawa 2011**

Dzwonkowski K., Winnicki I., Pietrek S., 2023. Wyznaczanie natężenia opadu na podstawie danych z radarów z podwójną polaryzacją fali elektromagnetycznej. Biuletyn WAT, Vol. LXXII, Nr 1, 2023, 79-100

Gorczyca E., Krzemień K., 2010. Ewolucja systemów korytowych pod wpływem antropopresji (na przykładzie wybranych rzek karpackich [w:] Przekształcenia struktur regionalnych: aspekty społeczne, ekonomiczne i przyrodnicze, Wrocław: Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, 431-439

Kaca E., Kubrak J. (red.), 2020. Budowle i urządzenia do pomiaru przepływu wody w kanałach melioracyjnych. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 1-262

Korpak J., 2007. The influence of river training on mountain channel changes (Polish Carpathian Mountains). Geomorphology 92, 166–181

Krzemień K., Gorczyca E., Sobucki M., Liro M., Łyp M., 2015. Effects of environmental changes and human impact on the functioning of mountain river channels, Carpathians, southern Poland. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam. 47 (3)

Lukáč, M., Bednárová, E., Štefanek, J., 1991. Reservoirs and water management systems. ES STU, Bratislava: pp 277.

Łapuszek M, Witkowska H., 2006. Wpływ zwiększenia rozstawu wałów na poprawę warunków ekologicznych oraz ochronę przeciwpowodziową. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich nr 4/2/2006, PAN, Oddział w Krakowie, 89–98

Struzik P., 2008. Satelity meteorologiczne od 40 lat w służbie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Nauka 4/2008, 35-42

Tuszyńska I., 2015. Rozwój meteorologii radarowej w Polsce. Seria publikacji naukowo-badawczych IMGW-PIB. Wydawnictwo IMGW-PIB, Warszawa, 1-215

Wawręty R. (red.), 2006. Zapory a powódzie. Raport Towarzystwa na Rzecz Ziemi i Polskiej Zielonej Sieci, Oświęcim – Kraków.

Witkowski K., 2015. Ewolucja koryta dolnej Skawy w świetle zabudowy hydrotechnicznej. Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus 14 (1) 2015, 213–221

Witkowski K., Wyszomłek G., 2013. Wpływ regulacji Skawy na rozwój form korytowych. Landform Analysis 30: 21–27



## Polska – Słowacja

*Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien*

---

Wójcik K., Wdowikowski M., 2014. Współczesne metody instrumentalnego pomiaru prędkości przepływu wody w korytach otwartych [w:] Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska, praca zbiorowa pod red. T. M. Traczewskiej i B. Kaźmierczaka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 978-993

Wyźga B., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A., Hajdukiewicz H., 2012. Environmental change, hydromorphological reference conditions and the restoration of Polish Carpathian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 37, 1213-1226

Żelaziński, J., 2012. Rola Zbiornika Czorsztyńskiego na Dunajcu w ochronie przeciwpowodziowej w 1997r. *Pieniny – Przyroda i Człowiek* 12: 3–11