

KATARZYNA SZUBA*

PRZEMIANY STOSUNKÓW WODNYCH W ZLEWNI
I DOLINIE DUNAJCA W KONTEKŚCIE
POSZUKIWANIA ŚRODKÓW OGRANICZENIA
ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

CHANGES OF WATER RELATIONS IN THE VALLEY
AND THE DUNAJEC RIVER CATCHMENT AS MEANS
OF SEEKING FOR METHODS OF FLOOD
THREAT REDUCTION

Streszczenie

Wykorzystując naturalne możliwości retencyjne, można w znaczny sposób wpływać na zmniejszenie częstotliwości występowania powodzi. Artykuł prezentuje retencję powodziową jako skuteczne narzędzie ograniczenia wielkości powodzi. Proponuje również rodzaje retencji powodziowej możliwe do zastosowania w zlewni Dunajca.

Słowa kluczowe: retencja powodziowa, zlewnia, polder, terasy zalewowe

Abstract

Using the natural capacity of retention we can significantly affect the reduction in frequency of flooding. The article presents the retention of the flood as an effective tool for limiting the size of the flood. It also proposes the retention of flood types available for use in the Dunajec basin.

Keywords: flood retention, catchment area, polder, flood-plain

* Mgr inż. Katarzyna Szuba, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Woda zawsze była czynnikiem niezbędnym dla życia i rozwoju człowieka. Warunkowała rozwój osad, wsi i miast. Była źródłem energii oraz środkiem transportu. Bliskość rzeki wyznaczała miejsce stałego bytowania człowieka. Z drugiej jednak strony nosła i nadal niesie niebezpieczeństwo. Są nim wezbrania, które niszczą zbiory, budynki, często całe wsie i miasteczka. W świetle powodzi woda jawi się jako niebezpieczny żywiol, wobec którego człowiek często staje się bezradny.

Pierwsze zapiski w kronikach oraz pierwsze budowle hydrotechniczne świadczą jednak o tym, że człowiek od samego początku był świadom niebezpieczeństwa związanego z wodą a także zagrożenia powodziowego. Na przestrzeni lat starał się znaleźć odpowiednie środki ochrony przed żywiołem.

2. Charakterystyka zlewni Dunajca

Rzeka Dunajec jest jedną z największych rzek karpackich. Powstaje z połączenia wód Czarnego i Białego Dunajca w miejscowości Nowy Targ. Całkowita długość Dunajca wynosi 247 km, a powierzchnia dorzecza 6804 km² – stanowi ona 30% powierzchni dorzecza Wisły po połączeniu obu rzek. Z wszystkich karpackich dopływów Wisły Dunajec ma największy potencjał powodziowy. Jego ujście stanowi ostatni, a zarazem najważniejszy węzeł, w którym fala Wisły może ulec poważnej modyfikacji.

Od Nowego Targu do Czorsztyna Dunajec przepływa dnem szerokiej i rozległej Kotliny Nowotarskiej. Na tym odcinku jego koryto jest wielodzielne. Po przepłynięciu kaskady zbiorników Czorsztyn-Sromowce, płynie wąską i zalesioną doliną przełomu Pienin. Dolina ta charakteryzuje się stromymi zboczami, głębokimi i ostrymi zakolami. Poniżej rzeka przełamuje się przez Beskidy i płynie doliną szeroką nawet do 1 km, miejscami zwężając się do 200–300 m, o stromych i w znacznym stopniu zalesionych zboczach. W Starym Sączu Dunajec przyjmuje swój największy dopływ Poprad, a następnie stosunkowo szeroką doliną Kotliny Sądeckiej (koryto wieloramienne) dopływa do kaskady zbiorników Rożnów-Czchów. Poniżej kaskady dolina Dunajca rozszerza się, jest bardzo rozległa i posiada wyraźne terasy zalewowe.

Dolny Dunajec obejmuje odcinek od wodowskazu Czchów do ujścia (wodowskaz Żabno). Na tym odcinku Dunajec ma już charakter rzeki podgórskiej. Średnie prędkości przemieszczania się fal wezbraniowych są znacznie niższe niż odcinka powyżej zespołu zbiorników Rożnów-Czchów. Mieszczą się one w granicach 2,5–3,5 km/h. Przeważają wezbrania letnie. Poniżej Tarnowa Dunajec przyjmuje swój ostatni dopływ – Białą Tarnowską. Dalej aż do ujścia płynie doliną bardzo rozległą (do kilku kilometrów), obwałowaną. Do Wisły uchodzi na wysokości 174,4 m n.p.m.

W zlewni Dunajca istnieje wiele czynników pozwalających zakwalifikować ją jako zlewnię o wysokim zagrożeniu powodziowym. Jednak aby określić zagrożenie powodziowe doliny Dunajca, należy scharakteryzować czynniki sprawcze wezbrań jakie wystąpiły w tym rejonie. Według *Studium ochrony przed powodzią województwa małopolskiego* opracowanego przez Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej (Kraków, listopad 2006), wśród podstawowych czynników wpływu dla wezbrań wyróżniamy:

- a) opady,
- b) specyfikę geograficzno-geologiczną zlewni,
- c) pokrycie (zagospodarowanie) terenu zlewni.

2.1. Opady

Dorzecze górnej Wisły jest obszarem o największym w Polsce zróżnicowaniu opadów. Możemy wyróżnić dwa główne typy będące przyczyną zagrożenia powodziowego:

- opady rozlewne – intensywne, trwające czasem kilka dni, o dużym zasięgu terytorialnym,
- opady burzowe ulewne lub nawalne – krótkotrwałe i lokalne, o bardzo dużym natężeniu.

Opracowanie *Uwarunkowania klimatyczne tworzenia się powodzi* wykonane przez IMGW w Krakowie pod kierownictwem prof. dr hab. Tadeusza Niedźwiedzia, powołując się na zeszyty naukowe E. Cebulak (1987, 1991, 1992a), podaje jeszcze trzeci typ opadów: opady ciągle w strefie frontalnej – mogą być przyczyną letnich wezbrań w części nizinnej Polski.

Zlewnia Dunajca w większości objęta jest strefą deszczów rozlewnych. W zlewniach karpackich dopływów Wisły po Dunajec wysokość opadu sięgać może ponad 200 mm w ciągu 3–6 dni.

2.2. Specyfika geograficzno-geologiczna zlewni

Dunajec jest karpackim dopływem Wisły. Przepływa przez Podhale, Pieniny, Beskidy Zachodnie, Pogórze Środkowobeskidzkie i Kotlinę Sandomierską. Według OKI Kraków, jego bieg można podzielić na trzy odcinki: od źródeł do zbiorników czorsztyńskich, drugi odcinek ograniczony kaskadami zbiorników oraz odcinek trzeci poniżej zbiorników rożnowskich. Do zbiorników rożnowskich Dunajec jest więc rzeką górską o dużym potencjale powodziowym, poniżej natomiast ma już charakter rzeki podgórskiej.

Cechą krajobrazu górskiego jest duży spadek terenu, znaczna stromość stoków i ich skalistość lub okrycie rumoszem, wąskość dolin. Góry powodują szybki spływ śródpokrywowy i powierzchniowy, w konsekwencji stwarzają więc warunki do kształtowania się fal wezbrań i powodziowych. Jeżeli dołączymy do tego duże i gwałtowne wahania poziomu wody oraz duże prędkości przepływu, jakimi charakteryzują się rzeki górskie, z punktu widzenia specyfiki zlewni Dunajec możemy uznać za rzekę generującą duże zagrożenie powodziowe.

2.3. Pokrycie terenu zlewni

Pokrycie terenu zlewni ma znaczący wpływ na zagrożenie powodziowe. Szczególnie istotny jest tutaj stopień uszczelnienia powierzchni zlewni, który w bezpośredni sposób przekłada się na relacje pomiędzy odpływem powierzchniowym i podziemnym, a co za tym idzie – wpływa na czas transformacji opadu w odpływ. Jest to czynnik szczególnie ważny w przypadku wezbrań spowodowanych opadami.

Korzystny wpływ na zmniejszenie zagrożenia powodziowego mają lasy ze względu na występującą na terenach zalesionych naturalną retencję oraz ochronę przed erozją.

Obszarem, który w przypadku zalania generuje najwyższe straty jest zabudowa. Obecnie obserwuje się stały przyrost poziomu urbanizacji, co jest zjawiskiem niekorzystnym, gdyż ściśle wiąże się ze zwiększaniem wspomnianego wyżej stopnia uszczelnienia gruntów.

Zjawisko to prowadzi do bezpośredniego spływu wód opadowych do rzek i zmiany struktury odpływu. Na skutek uszczelnienia zlewni wartość przepływu kulminacyjnego znacznie wzrasta, czas koncentracji ulega skróceniu, a objętość fali rośnie.

Według informacji z bazy danych CORINE Land Cover 2000 dla Małopolski można stwierdzić, że w zlewni Dunajca dominują grunty orne, miejskie tereny zielone, a także zabudowa oraz stosunkowo niewielkie strefy przemysłowe. Jest to jednak obraz przybliżony ze względu na skalę, w której dokonuje się prezentacji danych CORINE (1:200 000).

Biorąc pod uwagę scharakteryzowane powyżej czynniki sprawcze wezbrań, przede wszystkim górski charakter rzeki oraz dużą intensywność opadów, ryzyko powodziowe zlewni Dunajca można uznać za duże. Jeżeli dodamy do tego bardzo wysokie średnie prędkości przemieszczania się fal wezbraniowych powyżej zespołu zbiorników Rożnów-Czchów (7–15 km/h), dosyć wysokie współczynniki spływów jednostkowych zwyczajnej wielkiej wody, które powodują tworzenie się „niebezpiecznych” fal wezbraniowych, Dunajec można by nazwać rzeką o jednym z najwyższych potencjałów powodziowych w województwie małopolskim.

Jako karpacki dopływ Wisły Dunajec ma także bardzo duży wpływ na jej falę wezbraniową (fala wezbraniowa Wisły jest sumą fal samej Wisły oraz jej dopływów, przy czym dużą wagę mają dopływy). Istnieje duże ryzyko nałożenia się kulminacji fali, co jest najbardziej niebezpiecznym zjawiskiem, jakie może wystąpić. Jednak najczęściej występuje zjawisko przyspieszania kulminacji Wisły wcześniejszymi kulminacjami jej dopływów. Dunajec w 80% przypadków kulminuje średnio około 10 godzin przed kulminacją Wisły. Jest więc, podobnie jak Raba i Skawa, przyczyną powstawania nowej kulminacji na Wiśle. Jednak różnice czasowe mijania się kulminacji w węźle hydrograficznym Wisły, Raby i Dunajca są na tyle małe, że nie można wykluczyć ich nałożenia się. Z tego powodu węzeł ten uważany jest za najgroźniejszy na terenie województwa małopolskiego. Jako przykład przytoczyć można wezbranie z 1934 roku, kiedy to Raba, Dunajec i Wisłoka utworzyły jeden wielki zalew w okolicy swoich ujść. Natomiast w roku 1997 nastąpiło synchroniczne złożenie fal wezbraniowych Wisły i Dunajca, w wyniku czego został uszkodzony wał przeciwpowodziowy w rejonie Kars.

Według badań przeprowadzonych przez IMGW, za najbardziej niebezpieczny pod względem powodzi odcinek Dunajca należy uznać rejon wodowskazu Nowy Sącz. Na tym obszarze Dunajec stanowi przykład rzeki górskiej. Zasilany jest z Tatr i sąsiadującego z powiatem nowosądeckim Beskidu Sądeckiego. Zarówno Tatry, jak i Beskid otrzymują najwyższe średnie roczne sumy opadów (1500 mm i 800–1300 mm) z kulminacją w miesiącach letnich. Nachylenie terenu sięgające ponad 20° powoduje szybki spływ wód opadowych – współczynnik odpływu na terenie dorzeczy górnego Dunajca i Popradu w półroczu letnim sięga nawet 60–70%.

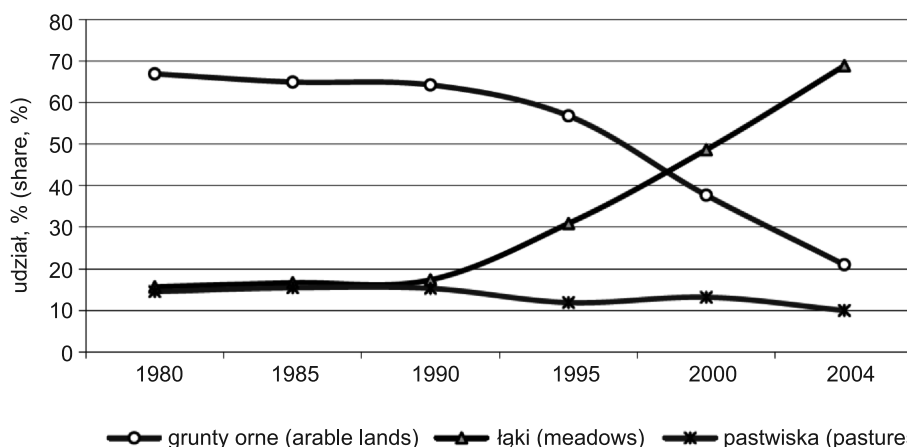
Na północ od Nowego Sącza Dunajec przepływa przez Pogórze Rożnowskie, którego charakterystyczną cechą są z kolei łagodne nachylenia stoków i wyrównane szerokie garby. Także dopływy Dunajca na terenie powiatu nowosądeckiego mają bardzo zróżnicowany spadek. Średni spadek doliny Dunajca wynosi 2,17‰. Powoduje on, iż Dunajec osiąga na tym odcinku znaczne prędkości przepływu wody, średnio wynoszące 0,7–1,1 m · s⁻¹, natomiast podczas wezbrań przekraczają one 2,5 m · s⁻¹.

3. Przemiany w użytkowaniu terenu i zagospodarowaniu zlewni

Zagrożenie powodziowe jakie niesie ze sobą rzeka zależy od wielu czynników. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zagrożenia spowodowany przede wszystkim antropopresją. Zmiana sposobu użytkowania ziemi zmienia także gospodarkę wodną. Intensywny rozwój budownictwa i infrastruktury pociąga za sobą pokrywanie dużych fragmentów terenu betonem, co za tym idzie ich uszczelnianie, przyspieszanie spływu powierzchniowego, a w konsekwencji częstsze i bardziej gwałtowne wezbrania, skrócenie czasu trwania fali powodziowej i zwiększenie jej kulminacji.

Zmiany użytkowania terenu w zlewni danej rzeki powodują powstanie tzw. wewnętrznego zagrożenia powodziowego obszaru zlewni. W szczególności powstaje ono na skutek utraty przepustowości naturalnego systemu i jednocześnie braku odpowiedniej rekompensaty w postaci sztucznego odprowadzania wód opadowych. Takie zmiany dotyczą zwłaszcza terenów silnie zurbanizowanych, na których brakuje naturalnej retencji utraconej wskutek uszczelniania zlewni (budowa dróg, parkingów, rozbudowa budynków). Takie zagrożenie powodziowe mocno wpływa na wzrost wielkości powodzi w obrębie danego terenu, a także terenów położonych poniżej. Retencja powierzchniowa i lokalna pozwala nam w takiej sytuacji na zahamowanie zmian struktury odpływu, a co za tym idzie na zapobieganie degradacji hydromorfologicznej cieków.

Obszary karpackie uważane są za trudne do uprawy. Rolnicze użytkowanie takich terenów przestaje być opłacalne. W zlewni górnego Dunajca dominowały lasy i tereny zadarnione. W ostatnich kilkunastu latach rolnicze użytkowanie terenu wyraźnie zaczęło zanikać. Według opracowania [6] udział gruntów ornych w strukturze użytków rolnych wynosi obecnie 20%. Zwiększyła się natomiast powierzchnia łąk i terenów zielonych, która w latach 90. wynosiła 40%, a obecnie sięga 70% ogólnej powierzchni użytków rolnych.



Rys. 1. Zmiany struktury użytków rolnych w latach 1980–2004 w obrębie zlewni górnego Dunajca

Fig. 1. Changes of agricultural land use structure in 1980–2004 in the upper Dunajec basin
(źródło: M. Kopacz, S. Twardy, *Zmiany użytkowania ziemi...*, 2006)

Analiza na poziomie gmin wykazała zmniejszenie powierzchni użytków rolnych na terenie gmin górnego Dunajca średnio o 7,2%, z czego największe zmiany zaszły w gminach podhalańskich. W tych gminach zanotowano również zwiększenie powierzchni zajmowanej przez zabudowę mieszkalną oraz infrastrukturę [6].

Na terenie zlewni środkowego i dolnego Dunajca zaobserwowano obniżenie dna koryta o więcej niż 1 m będące skutkiem erozji spowodowanej nadmiernym wydobywaniem piasków i żwirów bezpośrednio z koryt rzecznych i terenów do nich przyległych. Takie działania powodują zmiany warunków krytycznych ruchu rumowiska, a to z kolei prowadzi do naruszenia równowagi hydrodynamicznej w rzekach i potokach. Wzmoczona erozja wgłębna powoduje wzrost pojemności transportowej koryta oraz energii przepływu – co następnie owocuje wzrostem wielkości strat powodziowych.

Ogólnie rzecz biorąc struktura użytkowania terenu w zlewni Dunajca według danych podanych w opracowaniu *Dorzecze górnej Wisły, cz. I* [2]) jest dosyć zróżnicowana. Udział gruntów ornych wynosi 37%, sadów 2,5%, łąk i pastwisk 13,4%, użytków rolnych w sumie 52,9% a lasów 37,8%. Należy zwrócić uwagę, że tereny leśne w znacznym stopniu kształtują retencję wód, zwłaszcza w rejonach górskich, gdzie spływ powierzchniowy jest szybki a opady zazwyczaj duże.

4. Zmiany morfologiczne koryt rzecznych w kontekście historycznym (rozwój regulacji i zabudowy rzek, zabudowa dolin i terenów przybrzeżnych)

Nastawienie na rolnictwo oraz transport wodny spowodowały, że powstał nowy impuls do przeprowadzenia regulacji rzek. W drugiej połowie XIX wieku regulacje zaczęto przeprowadzać na wielką skalę, dążąc do uzyskania żeglowności cieków. Ważnym czynnikiem do przedsięwzięcia robót były także względy handlowe. Głównym traktem wodnym miała być Wisła, niemniej jednak regulację jej dopływów (w tym i Dunajca) uważano za tak samo ważną jak regulację rzeki I rzędu. Należy również zauważyć, że doliną Dunajca prowadziła ważna droga handlowa z Tarnowa przez Wojnicz i Nowy Sącz do Węgier. Ochrona tego szlaku przed zalewaniem wezbranymi wodami Dunajca również wydała się być ważnym czynnikiem skłaniającym do podjęcia prac regulacyjnych tej właśnie rzeki.

Ważnym momentem w rozwoju regulacji rzek w dorzeczu Wisły było wydanie ustawy o budowie dróg wodnych i regulacji rzek (1901 r.), na mocy której programem regulacji objęto m.in. górny i średni Dunajec. W 1907 r. wydano nową ustawę, uzupełniającą postanowienia ustawy z 1901 r. Wśród innych dopływów ustawą tą objęto również budowę zbiorników powodziowych w dorzeczu Dunajca.

Równocześnie w stosunkowo szybkim tempie przebiegały roboty nad rzekami w celu ochrony przed powodzią. Kosztem funduszu melioracyjnego państwowego i krajowego, z udziałem stron prywatnych wykonano obwałowanie dolnego Dunajca.

Jak podaje Matakiewicz (1920 r.), regulację Dunajca podzielono wówczas na 4 części: partia dolna od ujścia do Zgłobiec (km 0–39) stanowiąca tzw. przestrzeń państwową, regulowaną z funduszy państwowych; dalej partia od Zgłobiec do Nowego Targu (km 39–199) regulowana na podstawie wspomnianej już ustawy z 1901 r., przy czym przestrzeń od Zgło-

bic do Nowego Sącza (km 108) należała do tzw. grupy B regulowanej z funduszków wyłącznie państwowych, natomiast od Nowego Sącza do Nowego Targu należała do grupy A, regulowanej w 60% z funduszków państwowych, a w 40% z krajowych. Na mocy ustawy z 1907 r. regulację rozszerzono w górę, obejmując Czarny i Biały Dunajec oraz Białkę Tatrzańską. Koszty regulacji od Nowego Targu do Zgłobiec obliczono na 7,8 miliona koron. Oprócz Dunajca ustawą o regulacji rzek objęty został także Poprad, którego regulację planowano na odcinku od Muszyny (km 59) do ujścia do Dunajca (km 0). Przewidywano koszty w wysokości 3,1 miliona koron.

Intensywną regulację Dunajca rozpoczęto w roku 1904, choć już wcześniej wykonywano tam większe budowle. W 1920 roku Matakiewicz, odnosząc się ogólnie do Dunajca nie tylko w rejonie doliny Zakliczyńskiej, podaje: „Regulacja, pomimo trudnych warunków i wybitnie górskiego charakteru rzeki, postępuje pomyślnie i rozpoczęta jest w wielu punktach. Ułatwieniem jest to, że wzdłuż biegu rzeki istnieją liczne kamieniołomy, dostarczające dobrego kamienia do narzutów przy tamach faszynowych. (...) Zastosowany system regulacji okazał się odpowiedni, postęp robót jest pomyślny – w przestrzeni od Nowego Targu do ujścia Łososiny przebudowywano dotychczas rocznie około 350 000 koron; dotychczasowe wydatki od roku 1904 wynoszą około 4,5 miliona koron. Jakkolwiek budowę rozdrobniono na wiele placów budowy, to jednak istnieje już cały szereg większych partii kompletnie systematycznie uregulowanych”.

Początkowo dolny Dunajec, tj. od Melsztyna do ujścia (km 56–0) miał być regulowany dla żeglugi. Jednak ze względu na znaczny spadek rzeki, wynoszący między ujściem Łososiny a Białej około 1‰ stwierdzono, że najbardziej prawdopodobnym rozwiązaniem będzie użegłownienie rzeki tylko między mostem kolejowym w Bogumiłowicach (km 34,4), a ujściem do Wisły (km 0). Na tym odcinku spadek wynosił 0,7‰–0,24‰, a więc był już zdecydowanie mniejszy. Normalne szerokości rzeki w przestrzeni od ujścia Łososiny do Wisły zmieniały się od 54–62 m.

Regulacja odcinka Melsztyn – ujście rozpoczęto stosunkowo dawno, od roku 1880–1904 wydano na ten cel około 2,5 mln. koron. Jednak akcja budowlana rozpoczęła się dopiero w 1904 r., na podstawie ustawy z 1901 r. „(...) dotychczas uregulowano w zupełności około 20 km tej przestrzeni (...). Przytem zauważyć należy, że prawie cała przestrzeń rzeki jest już znormalizowana, przekopy wszystkie dawno wykonane, brak tylko na pewnych partiach połączenia końców tam poprzecznych tamą równoległą, oraz uzupełnienia narzutów kamiennych”. Od tego czasu (1904 r.) wydawano rocznie około 0,5 miliona koron. Koszt 1 km regulacji wynosił 300 000 koron.

Jako typy budowli wykonano wówczas tamy równoległe faszynowe (korona 2 m, skarpy o nachyleniu 1:1 i 1:1,5) z narzutem kamiennym (korona 1m, skarpa 1:2), poprzeczki faszynowe o szerokości korony 1,5 ew. 1 m i nachyleniu skarp 1:1 i 1:1,5.

W dorzeczu Dunajca regulowano wówczas również inne dopływy, m.in. Muszynkę, Kryniczankę, Kamienicę Nawojowską i inne. Ze szczególną pieczołowitością traktowano jednak prawobrzeżny dopływ Dunajca – Białą Tarnowską. Regulację Białej rozpoczęto w 1892 r. na odcinku od Grybowa do ujścia do Dunajca (km 74–0). Wykonanie robót powierzono do Biura melioracyjnego Wydziału krajowego. Według projektu z 1892 r. oraz projektu uzupełniającego z 1908 r. koszty regulacji wyniosły 4 364 000 koron.

W 1907 roku przedłużono odcinek regulacyjny Białej Tarnowskiej o 18 kilometrów w górę – od Grybowa aż do Śnietnicy (km 74–92). Koszty całej regulacji wyniosły więc $5\frac{1}{4}$ miliona koron, co daje 57,000 koron za 1 km. Są to koszty stosunkowo niskie. Pokryte zostały w 60% z funduszu państwowego, w 30% z funduszu krajowego oraz w 10% z udziału stron interesowanych. Jak pisze Matakiewicz: „Obecnie są roboty regulacyjne na Białej prawie zupełnie ukończone, a regulacja zrealizowana”. Tak znakomite skutki regulacji osiągnięte zostały przede wszystkim dzięki intensywnemu prowadzeniu prac.

4.1. Obwałowania

Z regulacją rzeki Dunajec i jej dopływów nieodłącznie związane są obwałowania. Ich rola polegała i polega na ograniczeniu zasięgu koryta wód wezbraniowych (powodziowych) tak, aby z jednej strony wydłużyć czas spławnego wykorzystania rzeki w ciągu roku, z drugiej zaś ograniczyć straty powodziowe w terenach przybrzeżnych poddanych intensywnej zabudowie w długim okresie rozwoju i wykorzystać rolniczo wartościowe gleby w tym obszarze.

Już w 1895 roku na wniosek gmin Janowice, Wróblowice, Lusławice, Zakliczyn, Wesółów, Stróże i Filipowice sejm podjął uchwały, którymi polecił Wydziałowi Krajowemu zarządzić opracowanie projektu obwałowania Dunajca w dolinie Zakliczyńskiej (na lewym brzegu km 66–52, na prawym brzegu km 65–48,5). Polecenie to jednak nie mogło zostać wykonane przez piętnaście lat, ponieważ trasa regulacyjna Dunajca nie była jeszcze ustalona, a normalne przekroje poprzeczne nie były obliczone. Zostało to wykonane dopiero w 1910 r. Dwa lata później Krajowe Biuro Melioracyjne opracowało projekt techniczny obejmujący obwałowanie lewego brzegu Dunajca na długości 11,554 km; prawego brzegu na dług. 14,988 km, a także 3 lewych i 5 prawych dopływów oraz regulację 15 potoków i wykonanie 22 rowów osuszających.

Prace przygotowawcze rozpoczęto w 1914 r., jednak z powodu zajęcia kraju przez wojska rosyjskie musiały one zostać przerwane. Ponownie podjęto je w 1918 r., jednak z powodu dewaluacji marki polskiej prowadzone były w skromnych rozmiarach i ograniczyły się tylko do odwodnienia doliny Zakliczyńskiej. W 1925 r. Ministerstwo Robót Publicznych oddało nadzór nad melioracją Tymczasowemu Wydziałowi Samorządowemu, który postanowił wydać rozporządzenie z mocą ustawy, zapewniające wykonanie obwałowania Dunajca w dolinie Zakliczyńskiej przy 50% udziale finansowym funduszu krajowego i państwowego funduszu melioracyjnego. W tym celu zapytano zainteresowane gminy, które 30 lat wcześniej wносиły do sejmu petycje o obwałowanie Dunajca, czy uważają obwałowanie za potrzebne. Niestety większość gmin opowiedziała się tylko za odwodnieniem doliny Zakliczyńskiej, a przeciw obwałowaniu Dunajca w tym rejonie.

We wspomnianym wyżej projekcie przyjęto okrągłą objętość wielkiej wody $Q = 4000 \text{ m}^3/\text{s}$. Spadek Dunajca, na podstawie którego obliczono przepływ wielkiej wody, wyrównano według ówczesnego stanu średniej wody normalnej podanego przez krajowy oddział hydrograficzny. Spadek ten od mostu w Zgłobicach do ujścia Łososiny wynosił 1,083‰. Spad skontrolowano niweletą wielkiej wody z 9 kwietnia 1907 r. Okazało się, że Między Zgłobicami a Melsztynem wynosił on 1,084‰, między Melsztynem a Tropiem 1,096‰. Minimalny rozstaw wałów Dunajca przyjęto 400 m. Wzniesienie korony wałów nad niweletą wyrównanej wielkiej wody wynosi 0,5 m, szerokość korony wałów 3 m, na-

chylenie skarp strony odwodnej 1:2, strony odpowietrznej 1:1,5. Dla wzmocnienia wałów przewidziano bermę¹ od strony łądu szeroką na 2 m, umiejscowioną 3 m pod koroną wałów. Zaplanowano również 22 śluzy i 34 przepusty wałowe. W terenie inundacyjnym² Dunajca zaprojektowano poziome wały wsteczne o szerokości korony 2 m, nachyleniu skarp jak przy wałach Dunajca, wzniesione 0,5 m nad zwierciadłem wielkiej wody.

Według zestawienia, do którego odwołuje się Matakiewicz (Wierzbicki, „Melioracje rolne”, Lwów 1917) w ówczesnym czasie ukończono obwałowanie lewego brzegu Dunajca na odcinkach: od Bogumiłowic do Biskupic Radłowskich (odcinek 14,3 km), powyżej Bogumiłowic na długości 12,1 km; od Biskupic Radłowskich do ujścia na długości 41 km. Ukończone również zostało obwałowanie prawego brzegu Dunajca od ujścia Białej do ujścia do Wisły na długości 30 km. W toku natomiast były prace nad obwałowaniem Dunajca w dolinie zakliczyńskiej na długości 66,1 km. Według informacji kierownika budowy inż. Hubera, do 1930 r. włącznie w dolinie zakliczyńskiej wykonano regulację trzech potoków oraz sześć rowów osuszających na prawym brzegu Dunajca.

Na odcinku leżącym poniżej obwałowania zakończono po II wojnie światowej.

5. Powódzie i ich skutki w podziale na Dunajec Górny i Dolny

[na podstawie: „Dorzecze górnej Wisły”, PWN Warszawa-Kraków 1991, „Studium ochrony przed powodzią województwa małopolskiego”, zeszyt 3 załącznik 4, Kraków, listopad 2006, Z. Gręplowska, K. Książczyński, E. Nachlik, A. Potocki, „Uwarunkowania klimatyczne tworzenia się powodzi” IMGW Kraków, red. prof. dr hab. Tadeusz Niedźwiedź].

W tej części artykułu przedstawiono krótką charakterystykę powodzi XX wieku do roku 1997 włącznie, na podstawie wspomnianych wyżej parametrów, ze szczególnym skoncentrowaniem uwagi na dorzeczu Dunajca. Pomocna tutaj będzie klasyfikacja wezbrań zaproponowana przez Punzeta, oparta na relacji pomiędzy przepływem maksymalnym (Q_{max})

Tabela 1

Klasyfikacja wezbrań Punzeta³

Typ wezbrania	Charakterystyka
Katastrofalnie wielkie	$Q_{5\%} < Q_{max}$
Wielkie	$Q_{10\%} < Q_{max} \leq Q_{5\%}$
Średnio wielkie	$Q_{50\%} < Q_{max} \leq Q_{10\%}$
Zwyczajne	$\frac{Q_{sr} + Q_{50\%}}{2} < Q_{max} \leq Q_{50\%}$
Brak wezbrania	$Q_{max} \leq \frac{Q_{sr} + Q_{50\%}}{2}$

¹ Uskok umożliwiający zsypanywanie się odspojonej ziemi do fosy.

² Inne określenie terenu zalewowego.

³ Z. Gręplowska, K. Książczyński, E. Nachlik, A. Potocki, *Studium ochrony przed powodzią województwa małopolskiego*, IIGW PK, zeszyt 3, załącznik 4, Kraków 2006.

a przepływami charakterystycznymi odpowiadającymi określonym przepływowi wysokim prawdopodobnym ($Q_{5\%}$, $Q_{10\%}$, $Q_{50\%}$) lub zależnym od prawdopodobnych i średniego rocznego z wielolecia (Q_{sr}).

Autor przyjmuje, że wezbranie nie występuje, gdy przepływ maksymalny jest niższy od wielkości przepływu równego co do wartości średniej arytmetycznej przepływu średniego rocznego i przepływu o prawdopodobieństwie pojawiania się $p = 50\%$.

5.1. Rok 1903 (lipiec)

Wezbranie to ocenione zostało jako katastrofalne na całej długości Wisły po ujście Dunajca włącznie. Czas wystąpienia kulminacji Dunajca zbiegł się z czasem wystąpienia kulminacji Wisły i Skawy. Przepływ maksymalny na Dunajcu wynosił 3000 m³/s. Prędkość przesuwania się przepływu maksymalnego: Czorsztyn 11,5 km/h, po Zgłobice 3–3,7 km/h, przy ujściu 1,5 km/h.

Dunajec najprawdopodobniej odprowadził ok. 1000 Mm³, ale na skutek przerwań wałów w węźle Wisła–Dunajec i poniżej nastąpiła utrata ok. 300–400 Mm³ ⁴.

5.2. Rok 1925 (przełom czerwca i lipca)

Ze względu na gwałtowny przybór wód, wysokie wzniosy i dużą objętość wezbrań zaliczono je do katastrofalnie wielkich. Przepływ maksymalny na Dunajcu nie przekroczył 2000 m³/s. Spowodował on natomiast przyspieszenie wystąpienia przepływu maksymalnego na Wiśle o ok. 24 godziny. Udział Dunajca w odpływie wezbraniowym Wisły – 700 Mm³. Straty odpływu w węzłach Dunajca i Wisły to co najmniej 200 Mm³ (przerwania wałów).

5.3. Rok 1931 (wrzesień)

Było to wezbranie wielkie i znaczące, szczególnie ze względu na nietypową porę wystąpienia. Fala wezbraniowa Dunajca przyspieszyła czoło fali wezbraniowej na Wiśle o ok. 8 godzin. Przeciętna prędkość przesuwania się kulminacji na Dunajcu poniżej Popradu wynosiła 9 km/h. Bilans odpływu Dunajca w ciągu dziewięciu dni (22–30.09) wg profilu Żabno wynosił 700 Mm³.

5.4. Rok 1934 (lipiec)

Wezbranie to spowodowane zostało rozlewnymi deszczami trwającymi 4 dni (14–18 lipca). Szczególne nasilenie opadów wystąpiło 16 lipca w dorzeczu Dunajca i Raby. Jak podaje Langer (1952), średnia wysokość opadu w dorzeczu Dunajca wyniosła wówczas 180 mm. W zlewni Popradu (obejmującej 40% powierzchni całego dorzecza Dunajca), natężenie opadów było stosunkowo niewielkie, dlatego opad średni w dorzeczu Dunajca był niższy niż w dorzeczu Raby.

Wezbranie swym zasięgiem objęło całe dorzecze górnej Wisły, jednak Dunajec był jedną z rzek, na których przybrało ono katastrofalny charakter o rozmiarach klęski żywiołowej. Kulminacyjne stany wody w czasie wezbrania przekroczyły tam dotychczas notowane maksima o 1,8–2 m (w Krościenku i Żabnie). Wznios fali wezbraniowej w dolnym Dunajcu

⁴ *Ibidem*.

w Żabnie wyniósł 8,8 m. Szybkość przyboru wody wynosiła 14–18 cm/h. Przepływ maksymalny przybrał wartość 4500 m³/s, ponadto fala charakteryzowała się zdeformowanym kształtem (długotrwałe opadanie), co wynikało z zasilania wodami, które uprzednio wydostały się na zawale wskutek przzerwania wałów.

Jak podaje Matakiewicz (1935) „wały dolnego Dunajca zostały w 46 miejscach przerwane, a na długości 19 km przelewała się woda przez ich koronę, a podobne przerwy wystąpiły w kilku miejscach i wałach dolnej Raby i Wisły między ujściem Raby a ujściem Wisłoki. Wskutek tego wzdłuż dolnego Dunajca, dolnej Raby i Wisły między tymi rzekami wytworzyło się olbrzymie jezioro na obszarze około 1000 km², stanowiące w czasie tego wezbrania potężny zbiornik retencyjny, który zatrzymał paręset milionów m³ wody, redukując przez to w znacznym stopniu wezbranie na Wiśle średniej i dolnej (...)”⁵. W wyniku przzerwania wałów poniżej Dunajca przelało się 400 mln m³ wody. Według bilansu odpływu powodzi, Dunajec zwiększył odpływ Wisły o 940 mln m³.

5.5. Rok 1940 (maj)

Fala wezbraniowa charakteryzowała się dwoma szczytami – jeden z nich wystąpił w maju, drugi na przełomie maja i czerwca. Pierwsza fala majowa po dorzecze Dunajca łącznie określana jest jako wezbranie wielkie, odpływ wezbrania majowego i czerwcowego łącznie – wezbranie katastrofalnie wielkie. Elewacja w odcinku ujściowym Dunajca wynosiła ponad 3 m. Prędkość przemieszczania się przepływu maksymalnego powyżej Popradu 10 km/h, poniżej Popradu 5,5 km/h. Przepływ maksymalny 2300 m³/s.

5.6. Rok 1948 (czerwiec)

Było to typowe wezbranie z deszczów rozlewnych. Uformowało się na Wiśle dopiero poniżej ujścia Skawy. W górnych partiach zlewni Dunajca zostało uznane za wielkie. Elewacja na Dunajcu w przekroju Nowy Sącz wynosiła 3,6 m, w Żabnie 8,4 m. Dunajec przyspieszył wystąpienie kulminacji na Wiśle, jej prędkość przesuwania się wynosiła na Dunajcu (po Nowy Sącz) 8 km/h, poniżej zbiorników 4 km/h. Przepływ maksymalny na Dunajcu w przekroju ujściowym wyniósł 3000 m³/s. Bilans odpływu 600 mln m³.

5.7. Rok 1951 (maj)

Rok ten należał do suchych. Wezbranie z maja charakteryzowało się znaczną prędkością przebiegu, ale było krótkotrwałe i niewielkie zarówno jeśli chodzi o kulminacje, jak i objętości fali. Elewacja na Dunajcu w Żabnie wynosiła ok. 6 m. Prędkość przesuwania się kulminacji po Nowy Sącz 22 km/h, poniżej Czchowa 3–3,5 km/h. Przepływ maksymalny 2100 m³/s. Bilans odpływu Dunajca 350 mln m³.

5.8. Rok 1958 (przełom czerwca i lipca)

Wezbranie ocenione jako wielkie w zlewni Dunajca. Elewacja fali w Nowym Sączu wynosiła 4 m. Prędkość kulminacji po Nowy Sącz 10 km/h, poniżej Czchowa od 4,6 malejąco

⁵ *Dorzecze górnej Wisły*. Cz. 1, red. Irena Dynowska i Maciej Maciejewski, PWN, Warszawa-Kraków 1991.

do 2,6 km/h. Dunajec był jedyną rzeką, która przyspieszyła kulminację Wisły (o ok. 4 godziny). Przepływ kulminacyjny w ujściu Dunajca wynosił 2300 m³/s.

5.9. Rok 1960 (koniec lipca)

Było to jedno z największych wezbrań XX wieku. Wystąpiło sumowanie się kulminacji fali Wisły i większości dopływów. Z tego powodu wezbranie przybrało katastrofalne rozmiary.

Elewacje nie należały do najwyższych ze względu na wysoką podstawę fali. Na Dunajcu w Żabnie elewacja wyniosła 7 m. Przeciętna prędkość kulminacji w górnym biegu Dunajca 2,7 km/h, w dolnym biegu 3,5 km/h. W Żabnie przepływ kulminacyjny Dunajca wynosił 3200 m³/s. Bilans odpływu przy ujściu Dunajca sięgał ponad 1000 mln m³.

Dunajec powinien był zasilić Wisłę odpływem rzędu 700 mln m³, ale nastąpiła utrata ok. 300 Mm³ na skutek przerwań wałów. Rezerwa powodziowa zbiornika Rożnów okazała się wówczas zbyt mała na przejście fali.

5.10. Rok 1970 (lipiec)

Wezbranie powstało w wyniku opadów atmosferycznych trwających trzy dni (17–19 lipca). Prawie w całym dorzeczu górnej Wisły najwyższe opady zanotowano w dniu 18 lipca. Średnia suma 3-dniowych opadów w dorzeczu Dunajca wyniosła 160 mm.

„W wyniku pęknięcia wałów przeciwpowodziowych w rejonie ujścia do Wisły, Raby i Dunajca lub wskutek przelania się wód powodziowych przez ich korony, kulminacyjne stany wody od Popędzynki w dół rzeki nie osiągnęły już maksimum dotąd obserwowanych i były niższe od 2 do 30 cm od kulminacji z 1934 i 1960 r.”⁶.

Wezbranie to charakteryzowało się pojedynczą falą wezbraniową, której wznios na Dunajcu wyniósł 8,4 m. Prędkości przesuwania się kulminacji fali znacznie przewyższały wartości przeciętne, przyspieszane falą Dunajca o 6 godzin. Na odcinku Dunajca od Nowego Sącza po Nowy Targ prędkość wynosiła 10 km/h, poniżej zbiorników 5,8 km/h. Ponadto wezbranie nasilało się wraz ze wzrostem zlewni. Odpływ Dunajca wyniósł 700 mln m³. W dolnym biegu Dunajca wezbranie przybrało katastrofalne rozmiary.

5.11. Rok 1972 (sierpień)

Było to jedyne większe wezbranie tego roku. Typowe wezbranie letnie, o katastrofalnych rozmiarach na Wiśle od ujścia Ołownicy po Rabę.

Elewacja fali na Dunajcu wynosiła 6 m, prędkość przemieszczania się kulminacji 9,7 km/h, poniżej zbiorników 2,7 km/h, a bilans odpływu Dunajca ponad 300 Mm³.

5.12. Rok 1997 (lipiec)

Przyjmując klasyfikację Punzeta (tab. 1) na całej długości Wisły w obszarze woj. małopolskiego, na Sole, na Dunajcu powyżej zbiornika w Czorszynie, a także od ujścia Popradu po zbiornik Rożnowski i na Łososinie wezbranie miało charakter wezbrania katastrofalnie wielkiego. Na odcinku Dunajca od zbiornika Sromowce Wyżne po ujście Popradu wezbranie miało charakter średnio wielkiego dzięki pracy zbiornika w Czorszynie.

⁶ *Ibidem*.

Wezbranie Dunajca spotkało się z wezbraniem Wisły. Objętość fali w przekroju Nowy Targ wynosiła 90 mln m³, w przekroju Nowy Sącz 592 mln m³, natomiast w Żabnie 706 mln m³. Elewacje fali wynosiły odpowiednio 3,62 m; 3,87 m; i 8,97 m. Przepływ kulminacyjny w Nowym Targu osiągnął wartość 706 m³/s, w Nowym Sączu 2610 m³/s.

6. Retencja powodziowa jako skuteczne narzędzie ograniczania wielkości powodzi

Skutki powodzi z 2010 r. potwierdziły jedynie brak skuteczności istniejącego, tradycyjnego systemu ochrony przed powodzią, którego kluczowym elementem są obwałowania. Niestety, budowana z trudem retencja zbiornikowa w dolinie Dunajca ma charakter wielozadaniowy, gdzie ochrona przed powodzią jest jedynie jednym i nie najważniejszym zadaniem. Dominuje tutaj funkcja energetyczna (zbiorniki Rożnów i Czorsztyn).

Przez retencję powodziową rozumiemy wyrównywanie i spowalnianie spływu wód wezbraniowych w znacznie szerszym zakresie. Jednym z jej istotnych elementów jest retencja dolinowa, oznaczająca objętość wody zgromadzoną w korycie rzeczonym i tarasie zalewowym między dwoma profilami wyznaczonymi wzdłuż biegu rzeki. Drugim, ważnym elementem jest retencja naturalna lub częściowo naturalna w zlewni – spowalniająca odpływ powierzchniowy wód opadowych.

Retencja zbiornikowa ma charakter lokalny i reguluje odpływ w określonym przekroju rzeki. Jej wartość w ochronie przed powodzią zależy od wielkości rezerwy powodziowej zbiornika w stosunku do objętości fali powodziowej w tym przekroju. Im mniejsza rezerwa tym skuteczność zbiornika niższa.

Warunkiem mającym wpływ na transformację fali wypływającej ze zbiornika retencyjnego jest retencyjne nasycenie dorzecza. Natomiast retencyjne nasycenie podłoża jest jednym z decydujących czynników w procesie tworzenia się letnich fal powodziowych i ich wielkości. Ma ono istotny wpływ na wzajemny układ kulminacji wezbrań rzeki głównej i jej dopływów, a tym samym na łączenie się lub mijanie w czasie wysokich fal wezbraniowych.

Wskaźnikiem retencyjności zlewni jest **współczynnik odpływu**. Jest on określany procentowo jako stosunek objętości opadu do objętości odpływu obliczonych z okresu wezbrania. Im wyższy współczynnik odpływu, tym mniejsza retencyjność zlewni. Zmniejszenie naturalnej retencyjności zlewni powoduje, że fale wezbraniowe stają się bardziej gwałtowne, charakteryzują się większymi przepływami maksymalnymi, większą prędkością wzrostów stanów wody oraz większymi prędkościami przemieszczania się. Takie niekorzystne zmiany spowodowane niską retencyjnością zlewni mogą być złagodzone przez odpowiednio prowadzoną gospodarkę wodną na zbiornikach retencyjnych.

7. Retencyjne przysposobienie zlewni i dolin rzecznych

W wielu miejscach i sytuacjach strukturalne (techniczne) metody walki z powodzią będą odpowiednie, jednak warto zwrócić uwagę na naturalne sposoby ochrony dóbr. Wymaga to zmiany sposobu myślenia i ukierunkowania na zarządzanie ryzykiem powodziowym.

Przy obecnym, wysokim poziomie zagrożenia w warunkach istniejącego zagospodarowania, jest jednak oczywiste, że naturalne sposoby ochrony bez wspomagania technicznego są mało skuteczne. Naturalna ochrona przeciwpowodziowa wspomagana technicznie oferuje bardziej skuteczne, długotrwałe i zrównoważone rozwiązanie w odniesieniu do zagrożenia powodziowego niż obwałowania, których wysokość musi rosnać, co powoduje wzrost niebezpieczeństwa w przypadku przerwania obwałowań w czasie powodzi.

Jednym z naturalnych, wspomaganych technicznie rozwiązań, które warto podkreślić są tereny zalewowe w dolinie rzeki poszerzone polderami. Wykorzystując ich naturalne możliwości do retencjonowania wód powodziowych, a w konsekwencji do opóźniania i redukcji kulminacji fali powodziowej, można w znaczny sposób wpływać na zmniejszenie częstotliwości występowania powodzi.

Istotne funkcje ekonomiczne i środowiskowe związane z regulowaniem ilości wody spełnia cykl hydrologiczny. Jeden z najistotniejszych jego elementów tworzą rzeki oraz przyległe do nich **tereny zalewowe**. Ich podstawowe funkcje hydrologiczne to możliwość retencji wód powodziowych, a także możliwość zasilania wód podziemnych przez wody powierzchniowe i odpływu wód podziemnych do rzeki.

Woda, która jest czasowo retencjonowana na terenie zalewowym podczas powodzi pochodzi z dwóch źródeł: z rzeki, gdy poziom wody przekracza wodę brzegową, lub z odpływu powierzchniowego i (lub) odpływu podziemnego z terenów bezpośrednio przyległych. Często dominującym źródłem jest zalew powodziowy spowodowany wystąpieniem rzeki z brzegów – powódź może pojawić się wówczas również w niżej położonych przekrojach rzeki, na których występuje odpływ powierzchniowy w niewielkim stopniu wywołany silnymi opadami występującymi w górnych partiach zlewni. Interakcja tych dwóch źródeł wody wpływa na sposób, w jaki teren zalewowy opóźnia i redukuje przepływy maksymalne w rzece. Jeśli dopływ wody z terenów przylegających do terasy zalewowej można uznać za pomijalnie mały, większość istniejącej (dostępnej) pojemności retencyjnej terenu zalewowego będzie wykorzystana do zmagazynowania wody pochodzącej z rzeki, co w efekcie spowoduje obniżenie i opóźnienie przepływów maksymalnych w cieku. Jeśli zaś dopływ wody do terasy z terenów przyległych będzie znaczny, dostępna pojemność retencyjna terenu zalewowego zostanie zmniejszona, w rezultacie czego nastąpi mniejsza redukcja i mniejsze opóźnienie przepływów maksymalnych rzeki.

Redukcja przepływów maksymalnych jest zatem bardzo ważna, ponieważ zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi na terenach położonych poniżej. Obniżenie kulminacji fali choćby o kilka centymetrów może być istotne i korzystne, gdyż pozwala zapobiec przelaniu się wody przez urządzenia ochrony przeciwpowodziowej i powstaniu dużych szkód powodziowych. Z kolei opóźnienie czasu wystąpienia kulminacji fali zapewnia więcej czasu na wdrożenie procedur prewencyjnych przeciwdziałających skutkom powodzi, takich jak np. ewakuacja ludności z terenów zagrożonych zalaniem.

Godne podkreślenia jest także to, że naturalne tereny zalewowe różnią się wielkością, pochodzeniem morfologicznym i klimatem, a różne formy krajobrazowe reagują indywidualnie w każdym pojedynczym przypadku powodzi. Te czynniki wpływają właśnie na czas trwania i zasięg powodzi, względną stabilność krótkotrwałych form terenowych, jak również na zdolność terenu zalewowego do retencjonowania zarówno wód powierzchniowych jak i podziemnych.

Podczas okresów z niskimi przepływami (przepływami bazowymi) zwykle tylko część terenu zalewowego jest wypełniona wodą. Dotyczy to zwłaszcza głównego koryta rzeki, koryt roztokowych⁷ i meandrów. W momencie gdy woda powodziowa wpływa na teren zalewowy przez lub ponad fałdem aluwialnym, powstają prądy erozyjne i w konsekwencji następuje depozycja erodowanego materiału w zakolach, starorzeczach, kanałach drenażowych, bocznych odgałęzieniach i torfowiskach. W czasie powodzi woda wypełnia cały obszar zalewowy i płynie w dół doliny szerokim, płytkim korytem. Prędkość przepływu jest względnie wysoka w strefach przewężeń i niska w strefach poszerzenia obszaru przepływu. Gdy poziom wody zaczyna się stopniowo obniżać, część wody spływa systemem koryt bocznych i kanałów erozyjnych do koryta głównego, ale część pozostaje w lokalnych depresjach, nieckach i zagłębieniach terenu. Ten naturalny sposób gromadzenia i przetrzymywania nadmiaru wody powodziowej, a następnie powolna redystrybucja nagromadzonej wody w okresach niskich przepływów jest bardzo ważnym procesem dla zachowania (utrzymania) hydrologicznych (i ekologicznych) funkcji pełnionych przez działające w sposób naturalny tereny zalewowe.

Literatura

- [1] Bartnik W., *Charakterystyka metod oceny hydromorfologicznej zrównoważonego stanu rzek i potoków górskich*, Zeszyt Aktualne uwarunkowania stanu i potencjału ekologicznego rzek i potoków górskich w obszarze działania RZGW w Krakowie, Kraków 2008.
- [2] *Dorzecze górnej Wisły*. Cz. 1, red. I. Dynowska, M. Maciejewski, PWN, Warszawa-Kraków 1991.
- [3] Gerritsen A.L., Haasnoot M., Hoffmann C.C., et al., *How to use floodplains for flood risk reduction*, M.S.A. Blackwell and E. Maltby, EUR EN, 2005.
- [4] Gręplowska Z., Książczyński K., Nachlik E., Potocki A., *Studium ochrony przed powodzią województwa małopolskiego*, IIGW PK, zeszyt 3, załącznik 4, Kraków 2006.
- [5] Kasina M., Pociask-Karteczka J., Nieckarz Z., *Tendencje występowania wysokich przepływów w dorzeczu Dunajca w II połowie XX wieku*, Folia Geographica, 2006–2007.
- [6] Kopacz M., Twardy S., *Zmiany użytkowania ziemi w zlewni górnego Dunajca w aspekcie wybranych parametrów jakościowych wód powierzchniowych*, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie, t. 6, z. 2, Kraków 2006.
- [7] Lach J., *Skutki powodzi w lipcu 2001 roku w powiecie nowosądeckim*, Folia Geographica, 2004–2005.
- [8] Matakiewicz M., *Regulacja Wisły*, Warszawa 1920.
- [9] Nachlik E., *Ograniczenia zagrożenia przed powodzią*, Zeszyt Aktualne uwarunkowania stanu i potencjału ekologicznego rzek i potoków górskich w obszarze działania RZGW w Krakowie, Kraków 2008.
- [10] *Roboty wodne i melioracyjne w południowej Małopolsce*, Cz. III, *Regulacja rzek górskich, zbiorniki wody i zabudowanie potoków górskich*, red. A. Kędzior, Lwów 1931.
- [11] RZGW Kraków, Internet, dostęp 16.06.2012 r.
- [12] Zawiejska J., Wyżga B., *Transformacja koryta Dunajca w XX wieku jako wynik ingerencji człowieka i zmian środowiskowych w zlewni*, Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy – wybrane aspekty, red. B. Wyżga, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków 2008.

⁷ Inaczej warkoczone – w obrębie łożyska rzeka płynie kilkoma płytkimi korytami na przemian łączącymi się i rozdzielającymi, między którymi występują liczne mielizny i wyspy.