



Polska Akademia Nauk
Oddział w Krakowie
Komisja Nauk Geologicznych

Referat wygłoszony w dniu 18 grudnia 2024 r. na posiedzeniu Komisji Nauk Geologicznych PAN Oddział w Krakowie

dr inż. Agnieszka Kowalczyk¹ & dr hab. Andrzej Jaguś², prof. UBB

¹Instytut Technologiczno-Przyrodniczy PIB, Oddział w Krakowie

Zakład Technologiczny

E-mail: a.kowalczyk@itp.edu.pl

²Uniwersytet Bielsko-Bialski

Katedra Ochrony i Inżynierii Środowiska

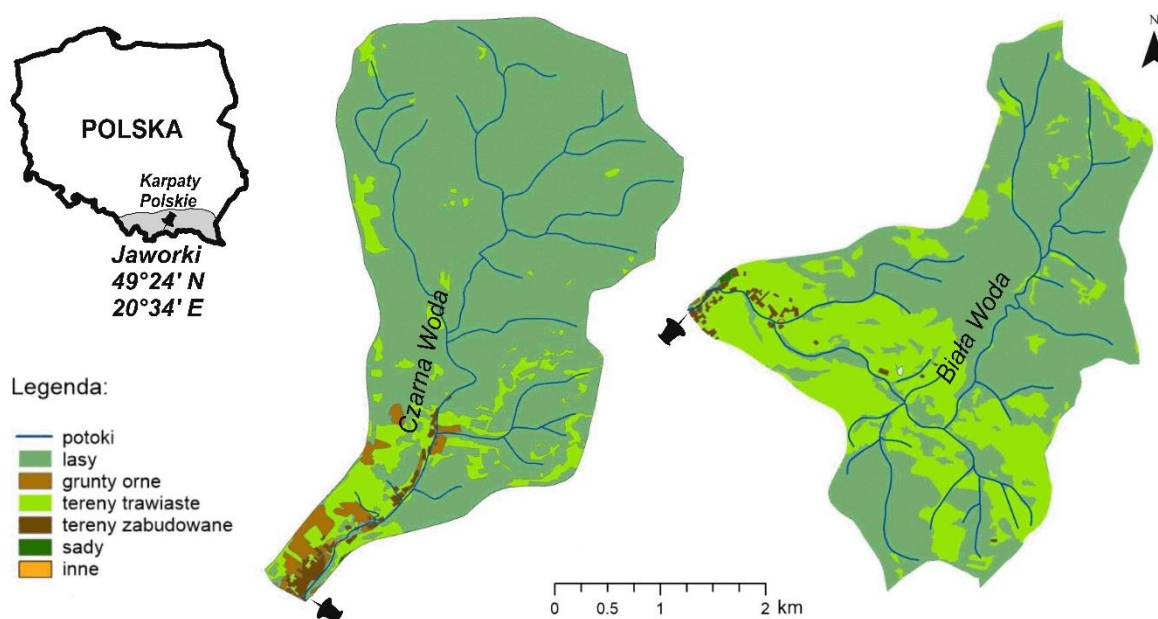
E-mail: ajagus@ubb.edu.pl

Dynamika odpływu wody w potokach górskich

Obszary górskie odgrywają dużą rolę w tworzeniu zasobów wodnych w skali regionalnej i globalnej (Viviroli i Weingartner 2004). W Polsce dostarczają one około 30% wody, zajmując zaledwie 9% powierzchni kraju (Kostuch 1976). Analizy hydrologiczne pokazują jednak, że w zlewniach górskich, zwłaszcza tych pozbawionych obiektów retencyjnych, ilość wody płynącej dostępnej dla człowieka jest bardzo zmienna (Stoffel i in. 2016, Wałęga i Młyński 2017). Wynika to głównie z szybkiego odpływu wody opadowej lub roztopowej w procesie spływania powierzchniowego. Skutkiem tego są z jednej strony sytuacje wezbraniowe (a nawet powodziowe), a z drugiej niskie stany wody w okresach suchych (Kopacz i in. 2021). Mamy zatem często do czynienia z nadmiarem lub niedoborem wody, które mogą być niwelowane poprzez ograniczenie spływu powierzchniowego na rzecz infiltracji wgłębnej. Doniesienia literaturowe i obserwacje terenowe wskazują, że jednym z głównych czynników wpływających na relację opad – odpływ, czyli zdolności retencyjne zlewni, jest sposób zagospodarowania terenu (Ryffel i in. 2014, Baran-Gurgul i in. 2018, Reinhardt-Imjela i in. 2018, Wyżga i in. 2018). Celem przedstawionych badań było rozpoznanie różnic w dynamice odpływu wody w potokach górskich w warunkach różnego zagospodarowania obszaru zlewniowego. Prace realizowano w Karpatach Polskich, gdzie struktura użytkowania terenu jest oceniana niekorzystnie w aspekcie ochrony zasobów wodnych (Starkel 1990, Jaguś 2019).

Badania prowadzono w dwóch sąsiadujących z sobą zlewniach górskich położonych na pograniczu Pienin i Beskidu Sądeckiego, w rejonie turystycznej miejscowości Jaworki (gmina Szczawnica). Były to zlewnie potoków Czarna Woda i Biała Woda (Rys. 1). Posiadają one zbliżoną powierzchnię, lecz wyraźnie różnią się fizjografią (Prochal 1962). Przepływ wody w

przekrojach ujściowych obu zlewni mierzono metodą przelewową za pomocą stałych zapór betonowych z wycięciem przelewowym (Rys. 2). Stan wody w przelewach był rejestrowany przez limnigrafy (Rys. 2), co umożliwiało określenie przepływu chwilowego o każdej porze dnia i nocy, a następnie obliczenie odpływów dobowych, miesięcznych, rocznych. Prezentowane poniżej dane, dotyczące ilości odpływającej wody, obejmują wielolecie kalendarzowe 2006-2023.

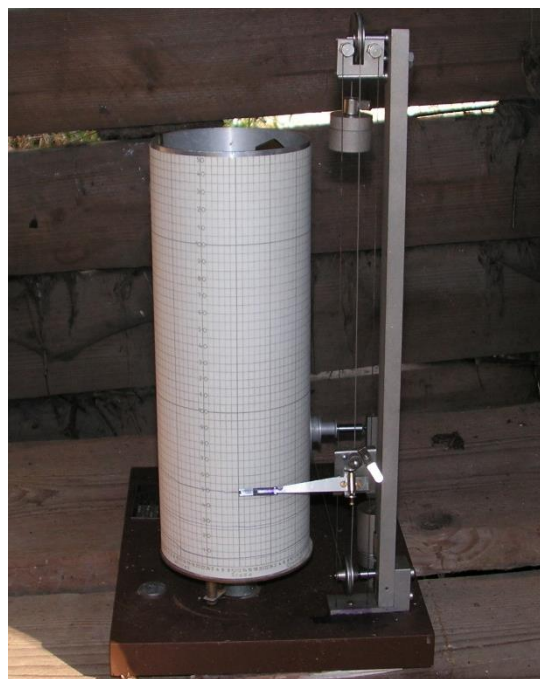


Rysunek 1. Zlewnie Czarnej Wody i Białej Wody (na podstawie materiałów kartograficznych geoportal.gov.pl – BDOT10k; 2023 rok)

Zlewnia Czarnej Wody jest zlewnią leśną (85,35% powierzchni leśnej) z udziałem terenów trawiastych (11,21%), gruntów ornych (2,17%) i zabudowanych (1,17%). Zlewnia Białej Wody jest z kolei zlewnią leśno-rolniczą, gdzie struktura zagospodarowania terenu jest następująca: tereny leśne – 65,19%, użytki zielone – 33,74%, tereny zabudowane – 0,90%, grunty orne i sady – 0,12%. W obu zlewniach jest prowadzona gospodarka leśna, natomiast zlewnię Białej Wody wyróżnia gospodarka pastwiskowa (pasterstwo owiec) oraz silna ekspansja terenów zabudowanych. Choć na zdolności retencyjne zlewni ma wpływ wiele czynników (m.in. kształt zlewni, spadki terenu, gęstość sieci rzecznej, przepuszczalność wodna podłoża), to wskazane cechy zagospodarowania przestrzennego pozwalają przypuszczać, że spływ powierzchniowy wody jest bardziej ograniczony w zlewni Czarnej Wody.

W całym okresie badań ze zlewni Czarnej Wody odpłynęło 9,2 mln $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ wody, a ze zlewni Białej Wody 9,4 mln $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. Wieloletnie zasoby wodne w obu potokach były zatem zbliżone. W poszczególnych latach odpływy ze zlewni Czarnej Wody zmieniały się w zakresie 247 tys. – 1 114 tys. $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, a ze zlewni Białej Wody 297 tys. – 1 246 tys. $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. W

niektórych latach odpływy z obu zlewni były niemal takie same (np. 2006, 2007, 2013, 2016), a w innych wyraźnie się różniły (np. 2008, 2010, 2014).



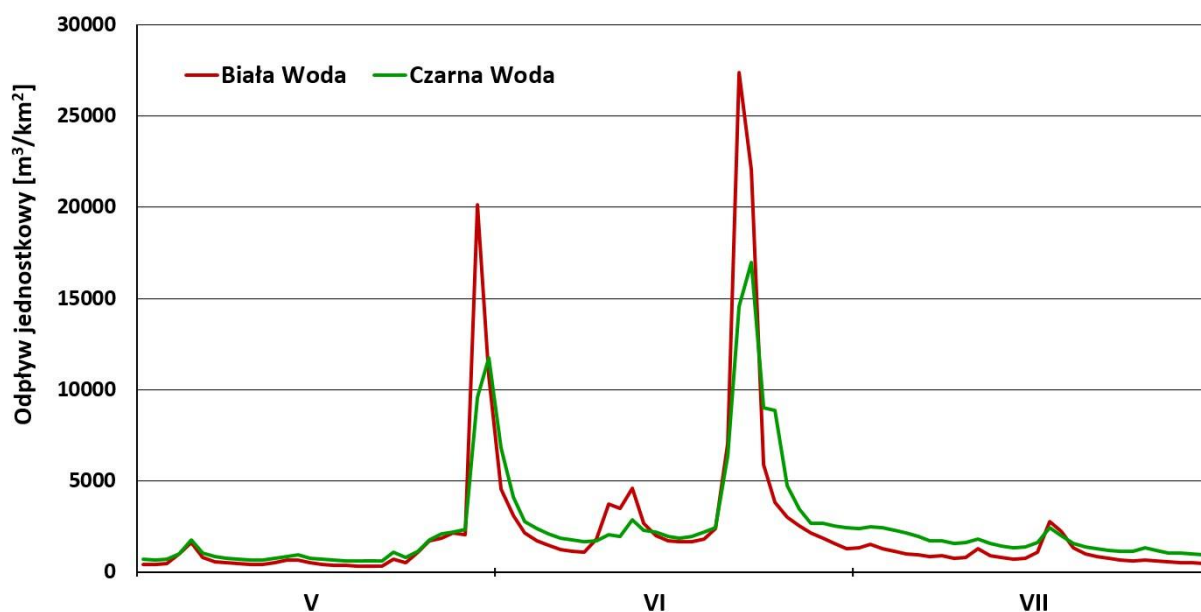
Rysunek 2. Przekrój pomiarowy na potoku Czarna Woda oraz limnigraf (fot. A. Jaguś)

W skali miesiąca najmniejsze odpływy z obu zlewni występowały w styczniu, lutym, listopadzie i grudniu – średnio około 25-30 tys. $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, a największe od kwietnia do czerwca – średnio około 60 tys. $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. W marcu zazwyczaj wyraźnie przeważał odpływ ze zlewni Białej Wody jako efekt szybkich roztopów na terenach niezalesionych. W tym czasie w korycie Białej Wody rejestrowano niemal codzienne fale wezbraniowe w godzinach południowych i wczesnopopołudniowych podczas słonecznych dni.

Największe różnice pomiędzy odpływami z obu zlewni stwierdzono analizując dane dobowe – to właśnie te wartości potwierdziły przewidywane większe zdolności retencyjne zlewni Czarnej Wody. Rozpiętość odpływów dobowych z tej zlewni była zdecydowanie mniejsza niż ze zlewni sąsiedniej, gdyż wynosiła od 87 $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ do 52 tys. $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. Odpływy dobowe ze zlewni Białej Wody zmieniały się w zakresie od zaledwie 37 $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ do aż 168 tys. $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. Zatem w zlewni Białej Wody występowały odpływy zarówno znacznie niższe, jak i znacznie wyższe niż w zlewni Czarnej Wody. Różne zdolności retencyjne zlewni najlepiej odzwierciedliła analiza częstości występowania odpływów dobowych z różnych przedziałów wartości. W całym okresie badań odpływy poniżej 500 $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ były obserwowane w zlewni Białej Wody przez 2036 dni, a w zlewni Czarnej Wody tylko przez 1224 dni. Odpływy powyżej 3000 $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ również występowały częściej w zlewni Białej Wody (593 dni) niż w zlewni Czarnej Wody (364 dni). W zlewni Czarnej Wody częściej rejestrowano odpływy z zakresu 500-

3000 m³·km⁻². Taka sytuacja wynika z intensywnego spływu powierzchniowego w zlewni Białej Wody w czasie opadów lub roztopów, co jest łatwe do zaobserwowania w terenie.

Wyniki pomiarów pokazały, że kulminacje fal wezbraniowych odpływających ze zlewni Białej Wody były często nawet o 30% bardziej zasobne w wodę niż fal odpływających ze zlewni Czarnej Wody (Rys. 3). Jednocześnie fale odpływające ze zlewni Białej Wody zazwyczaj szybko opadały – miały krótszą krzywą recesji. Szybki odpływ nadmiaru wody skutkował w okresach bezdeszczowych małymi przepływami w korycie potoku Biała Woda. Przepływy w korycie potoku Czarna Woda były mniej zmienne.



Rysunek 3. Przebieg dobowych odpływów jednostkowych ze zlewni Czarnej Wody i Białej Wody w okresie od maja do lipca 2020 roku

Badania potwierdziły, że w obszarach górskich zasoby wodne i jednocześnie ilość wody dostępnej są bardzo zmienne w czasie (w poszczególnych latach, miesiącach, dobach). Na przykładzie zlewni Czarnej Wody i Białej Wody stwierdzono, że zmienność zasobów wodnych może być zróżnicowana także terytorialnie – nawet na małym obszarze, w sąsiadujących zlewniach. Jest to konsekwencją różnej dystrybucji wody deszczowej lub roztopowej w danej zlewni na spływ powierzchniowy, infiltrację, ewapotranspirację itd. Analiza danych pomiarowych pokazała, że w okresach nasilonego spływania wody (z opadów, z topnienia śniegu) przeważał odpływ ze zlewni Białej Wody, natomiast w okresach bezopadowych ze zlewni Czarnej Wody. Świadczy to o innej strukturze zasilania tych potoków ze spływu powierzchniowego i odpływu podziemnego. Jedną z przyczyn dystrybucji wody w kierunku spływu powierzchniowego w zlewni Białej Wody jest z pewnością działalność człowieka, który użytkuje tę zlewnię wielokierunkowo – w znacznie większym stopniu niż sąsiednią zlewnię Czarnej Wody. Zatem człowiek poprzez różne działania w środowisku zlewniowym może wpływać na wielkość zasobów wodnych, co jest szczególnie widoczne dla zasobów w krótkim

czasie (np. doby). W obszarach górskich, w warunkach powszechnego nachylenia terenu, działania te powinny być ukierunkowane na zwiększanie zdolności retencyjnych zlewni (zamianę spływu powierzchniowego na infiltrację wgłębną) i mogą obejmować np. zalesianie i zadrzewianie, ograniczanie powierzchni utwardzonych, zmniejszanie liczby dróg, wprowadzanie przeciwerozrywnych elementów krajobrazu.

Literatura:

Baran-Gurgul K., Bodziony M., Kołodziejczyk K. (2018) Variability of the runoff coefficient for selected catchments in the Upper Vistula river catchment. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus* 17, 3: 13–22

Jaguś A. (2019) Water retention problem in the mountain areas: a case of Sola river flows, Polish Carpathians. *Journal of Ecological Engineering* 20(11):167–177.

Kopacz M., Kowalewski Z., Santos L., Mazur R., Lopes V., Kowalczyk A., Bar-Michalczyk D. (2021) Modelling of long term low water level in the mountain river catchments area. *Journal of Water and Land Development* 51: 225–232.

Kostuch R. (1976) Przyrodnicze podstawy gospodarki łąkowo-pastwiskowej w górach. PWRiL, Warszawa.

Prochal P. (1962) Charakterystyka sieci hydrograficznej źródłowych potoków Grajcarka na tle stosunków fizjograficznych. *Roczniki Nauk Rolniczych D*, 96: 13–61.

Reinhardt-Imjela C., Imjela R., Bolscher J., Schulte A. (2018) The impact of late medieval deforestation and 20th century forest decline on extreme flood magnitudes in the Ore Mountains (Southeastern Germany). *Quaternary International* 475: 42–53.

Ryffel A.N., Rid W., Gret-Regamey A. (2014) Land use trade-offs for flood protection: A choice experiment with visualizations. *Ecosystem Services* 10: 111–123.

Starkel L. (1990) Zróżnicowanie przestrzenne środowiska Karpat i potrzeby zmian w użytkowaniu ziemi. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich* 30: 11–29.

Stoffel M., Wyżga B., Marston R.A. (2016) Floods in mountain environments: A synthesis. *Geomorphology* 272: 1–9.

Viviroli D., Weingartner R. (2004) The hydrological significance of mountains: from regional to global scale. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(6): 1016–1029.

Wałęga A., Młyński D. (2017) Seasonality of median monthly discharge in selected Carpathian rivers of the Upper Vistula basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 12: 617–628.

Wyżga B., Kundzewicz Z., Konieczny R., Piniewski M., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A. (2018) Comprehensive approach to the reduction of river flood risk: Case study of the Upper Vistula Basin. *Science of the Total Environment* 631-632: 1251–1267.