

## CECHY REŻIMU ODPŁYWU RZEK KOTLINY KŁODZKIEJ

ADAM PERZ

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań  
ORCID 0000-0002-2497-4390

**Abstract:** This paper seeks to identify the features of the flow regime of the rivers in Kłodzka Valley in terms of the runoff, the structure and the spatiotemporal variabilities. The analysis was carried out on the basis of data provided by the Institute of Meteorology and Water Management from the period of 1971–2015 and obtained from 8 gauging stations located in 5 rivers. The research embraced the Nysa Kłodzka river and its main tributaries to the gauging station in Kłodzko. The runoff conditions in the analysed sub-basins are different. As a result, the rivers in Kłodzka Valley have different regime features. Due to the regularities in their flow variability, they can be classified into 2 types of hydrological regime: nival and nival-pluvial. There are significant differences in the total runoff, from 375 mm in Kłodzko to above 700 mm in the Wilczka river. The differences also occur in terms of the groundwater runoff and its contribution to the total runoff which ranges between 31% and 53%. All of the analysed basins have contributions to groundwater runoff below the mean value for the entire country (55%). In terms of viabilities of discharges, in general there are differences between the upper Nysa Kłodzka and its eastern tributaries and the western part of the basin.

**Keywords:** Kłodzka Valley, river runoff, hydrological regime

### WSTĘP

W dobie zmian klimatycznych i postępującej antropopresji, a także zwiększającego się ryzyka związanego z występowaniem zdarzeń ekstremalnych w postaci powodzi i suszy szczególnie istotne jest właściwe ustalenie cech reżimu hydrologicznego, zwłaszcza w kontekście stabilności warunków odpływu. Odpowiednie gospodarowanie zasobami wodnymi, przede wszystkim w zakresie zapewnienia ich odpowiednich zapasów w czasie niedoboru wody, jak i ochrony przeciwpowodziowej w okresie jej nadmiaru jest kluczowym wyzwaniem, mającym wpływ na wszystkie aspekty życia i działalności ludzi oraz środowisko przyrodnicze i ich wzajemne powiązania. W związku z tym badanie cech reżimu odpływu i jego stabilności nie ma jedynie znaczenia naukowego, ale jest równie istotne z aplikacyjnego punktu widzenia. Celem niniejszej pracy jest identyfikacja cech reżimu hydrologicznego Nysy Kłodzkiej i jej dopływów po wodowskaz Kłodzko w zakresie wielkości odpływu, jego struktury oraz zmienności.

Sudety, do których należy obszar badań, wraz z Przedgórzem Sudeckim są drugim regionem Polski pod względem wielkości zasobów wodnych (Bednorz

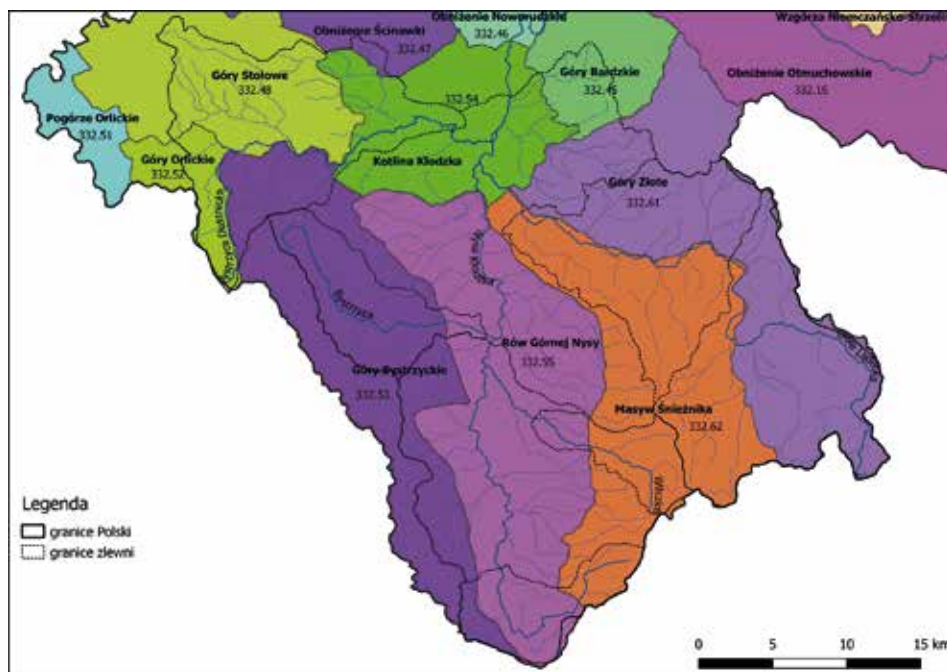
i in. 2019). Czyni go to jednak podatnym na występowanie wezbrań, a także duże powodzie. Powstało kilka opracowań monograficznych, w których opisano powódzie, np. w lipcu 1970 r. (Morawska-Horawska 1971), w lipcu 1997 r. (Dubicki i in. 1999; Świątek 2013) oraz w maju i czerwcu 2010 r. (Szalińska i in. 2014). Łach (2009) przeanalizował wezbrania na Nysie Kłodzkiej i jej dopływach od XIII w. i wskazał, że od XIII w. do końca XIX w. skutkiem powodzi była nadbudowa den dolinnych, natomiast od XX w. procesy takie występują jedynie lokalnie, obserwuje się wcinanie rzek w swoje aluwia. Bednorz i in. (2019) wskazują na osadzenie koryt rzecznych w starszych utworach oraz koncentryczny układ sieci rzecznej Kotliny Kłodzkiej jako warunki sprzyjające formowaniu się wysokich stanów i fal powodziowych na rzekach. W badaniach Masyw Śnieżnika, w którym znajdują się źródła Nysy Kłodzkiej, traktuje się jako jeden z obszarów najbardziej podatnych na występowanie wezbrań związanych z wysokimi opadami atmosferycznymi (Wrona 2008; Bednorz i in. 2019). Zarówno warunki klimatyczne, jak i pozostałe cechy środowiska geograficznego składają się na wezbranio- i powodziogenny charakter zlewni Ziemi Kłodzkiej, która bardzo szybko reaguje na opad (Tokarczyk, Olearczyk 2011). W związku z powyższym rzeki tego obszaru są m.in. przedmiotem licznych modeli hydrologicznych i hydraulicznych (m.in. Szalińska i in. 2014; Rutkowska i in. 2017; Niedzielski, Miziński 2017; Jeziorska, Niedzielski 2018; Stodolak i in. 2018).

Badaniem odpływu i jego struktury oraz typologią reżimów odpływu rzek zajmowało się wielu autorów. Wrzesiński (2017a, b) przedstawił różne typologie reżimu odpływu rzek w Polsce w podejściu nadzorowanym i nienadzorowanym. Jedną z najczęściej wykorzystywanych typologii reżimu odpływu jest klasyfikacja Dynowskiej (1999), zastosowana również w niniejszej pracy.

## OBSZAR BADAŃ

Obszar badań – Kotlina Kłodzka – w niniejszej pracy rozumiany jest jako teren odwadniany przez odcinek Nysy Kłodzkiej po Kłodzko. Leży on w południowej części Polski, należy do podprowincji Sudety z Przedgórzem Sudeckim, do dwóch makroregionów: Sudety Środkowe i Sudety Wschodnie. Obszar ten obejmuje następujące mezoregiony: Rów Górnej Nysy, Masyw Śnieżnika, Góry Złote, Góry Bardzkie, Góry Bystrzyckie, Góry Orlickie, Góry Stołowe, Kotlina Kłodzka i Obniżenie Ścinawki (Kondracki 2013; Solon i in. 2018) (ryc. 1).

Kotliną Kłodzką (wg wydzielenia Kondrackiego), a w nowym podziale fizycznogeograficznym Polski Rów Górnej Nysy i Kotliną Kłodzką (wg Solona i in. 2018) jest rowem tektonicznym o kierunku południkowym, dzielącym Sudety na część środkową i wschodnią (Kondracki 2013). Od zachodu ograniczają ją Góry Bystrzyckie, od wschodniej strony Masyw Śnieżnika, Góry Złote i Góry Bardzkie (Kondracki 2013). Kotliną nie ma wyraźnie zarysowanej



Ryc. 1. Obszar badań na tle podziału fizycznogeograficznego Polski – mezoregiony (na podstawie Solon i in. 2018)

Fig. 1. Area of research against the background of the physical-geographical division of Poland – mesoregions (on the basis of Solon et al. 2018)

granicy północnej, jej przedłużeniem jest Obniżenie Ścinawki oraz Obniżenie Noworudzkie (Kondracki 2013). Obszar ten charakteryzuje się stosunkowo dużym zróżnicowaniem wysokości – np. Trójmorski Wierch sięga 1145 m n.p.m., natomiast najniższa część Kłodzka leży na wysokości około 280 m n.p.m. (ryc. 5).

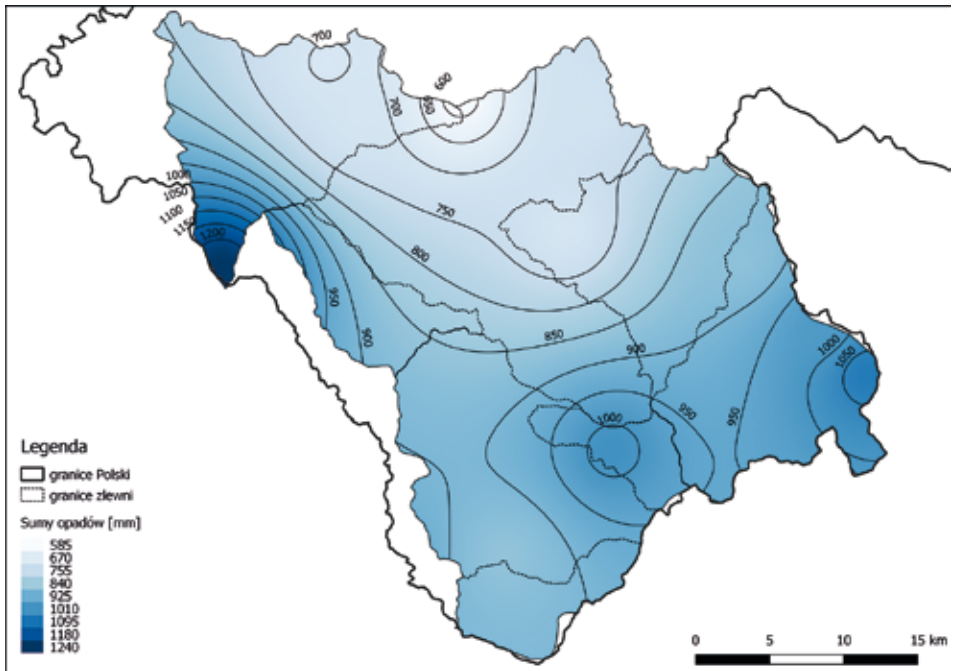
Pod względem geologicznym Kotlina Kłodzka odznacza się niewielką zmiennością (Łach 2012) – na obszarze dominują prekambryjskie skały metamorficzne oraz osadowe skały wieku kredowego. Kotlina Kłodzka jest natomiast zróżnicowana pod względem strukturalnym i teksturalnym, a także odporności skał na procesy erozyjne i wietrzeniowe (Łach 2012). Obszar ten charakteryzuje rzeźba falista i pagórkowata, średniogórska, której istotnym elementem są doliny rzeczne cechujące się odrębnym wyrazem morfologicznym oraz różnym stopniem rozwinięcia systemu korytowego (Łach 2012). Poza osadami rzecznyymi w dolinach zachowały się pozostałości pokryw morenowych i ilów zastoiszkowych – wynik dwukrotnego nasunięcia się lodowca kontynentalnego przez przełęcz Gór Bardzkich (Kondracki 2013). Dno kotliny pokrywa częściowo less, na którym wykształciły się żyzne gleby. Sprzyjało to rozwojowi rolnictwa, a rezultatem jest znaczne wylesienie terenu (Kondracki 2013).

Najważniejszą rzeką Kotliny Kłodzkiej jest Nysa Kłodzka, mająca źródła w Masywie Śnieżnika, na zboczu Trójmorskiego Wierchu, na wysokości ponad 1000 m n.p.m. Początkowo płynie Rowem Górnej Nysy, który stanowi naturalny kanał odpływowy (Staff 1993). Następnie wpływa we właściwą Kotlinę Kłodzką, gdzie zachowuje swój górski charakter aż do wypłynięcia z Gór Bardzkich, za którymi zaczyna meandrować i nabiera cech rzeki nizinnej. Ostatecznie uchodzi do Odry. Jej łączna długość wynosi około 181,7 km. Jej główne dopływy w obrębie analizowanego obszaru to: Wilczka (18,2 km), Bystrzyca (25,5 km), Biała Łądecka (52,7 km) oraz Bystrzyca Dusznicka (33 km). Górski charakter tych cieków, rzeźba terenu oraz geologia powodują, że w wyniku gwałtownych lub długotrwałych opadów oraz odwilży bardzo łatwo formują się na nich fale wezbraniowe. Może o tym świadczyć np. letnia powódź z lipca 1997 r., zwana „powodzią tysiąclecia”. Spowodowała ona ogromne straty materialne nie tylko na Ziemi Kłodzkiej, ale również w nadodrzańskich miastach, w tym we Wrocławiu, łącznie pozbawiając życia kilkadziesiąt osób. Na wielkość strat powodziowych niebagatelny wpływ ma także koncentracja majątku w postaci zabudowy i infrastruktury w dolinach rzek, wzdłuż cieków. Podłoże np. zlewni Bystrzycy stanowią w dużej mierze gliny o niewielkiej miąższości (Stodolak i in. 2018), które cechują się średnią przepuszczalnością wody. W związku z czym przyczyniają się do zwiększenia odpływu powierzchniowego i szybszego formowania się wezbrań na ciekach.

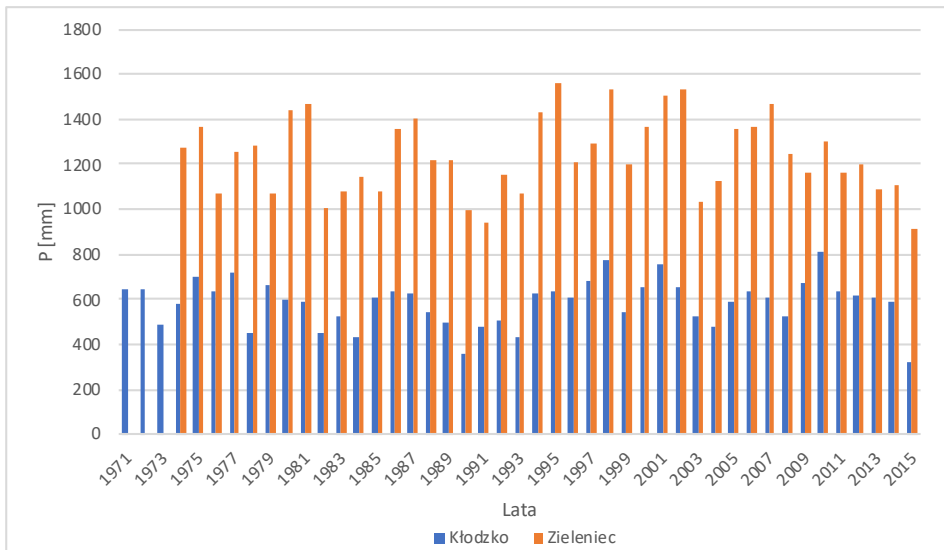
Górna część zlewni Nysy Kłodzkiej zaliczana jest do tzw. kłodzkiego regionu klimatycznego sudeckiej dzielnicy klimatycznej (RZGW we Wrocławiu, 2013). Najniższe temperatury notowane są w Górach Bystrzyckich (średnia roczna 4,9°C), najwyższe zaś na przedpolu Gór Opawskich (powyżej 8°C) (RZGW we Wrocławiu, 2013). Roczne sumy opadów na analizowanym obszarze są zróżnicowane przestrzennie. Ogólnie wyższe wartości notuje się na terenach górskich, czyli na południu, zachodzie i wschodzie obszaru, szczególnie w zlewniach Bystrzycy Dusznickiej, Wilczki i górnej Białej Łądeckiej (ryc. 2). Wartości maleją natomiast w centralnej części oraz na północy obszaru, czyli w obrębie niżej położonej kotliny (ryc. 2). Spośród analizowanych posterunków opadowych najwyższe roczne sumy opadów notowane są w Zieleńcu (1239 mm), a najniższe w Kłodzku (585 mm). Opady w wieloleciu (ryc. 3), jak i w przebiegu miesięcznym (ryc. 4) są zróżnicowane.

## MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY BADAŃ

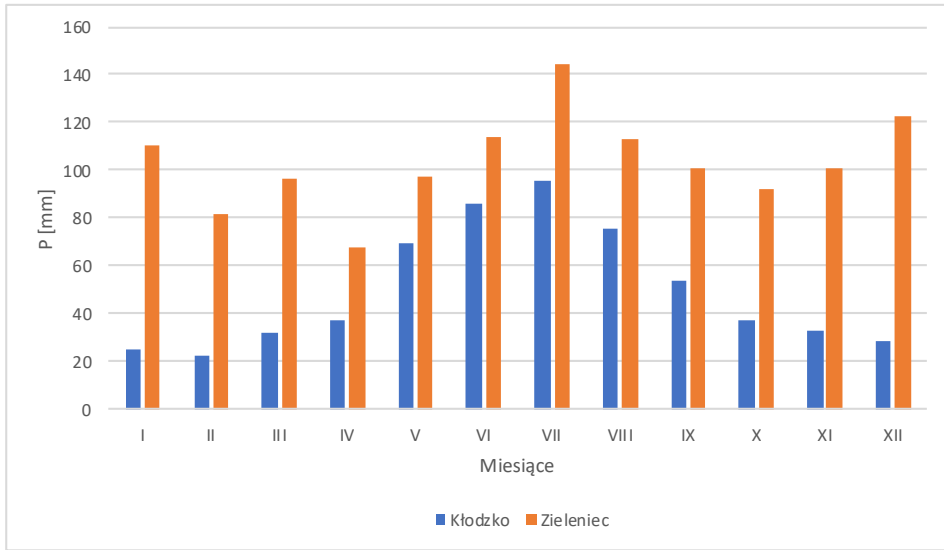
W pracy wykorzystano codzienne wartości przepływów z lat 1971–2015 dla ośmiu posterunków wodowskazowych, z czego trzy znajdują się na Nysie Kłodzkiej, a pozostałe na jej dopływach – Wilczce, Bystrzycy, Białej Łądeckiej i Bystrzycy Dusznickiej (ryc. 5). Wykorzystano także dane dotyczące opadów



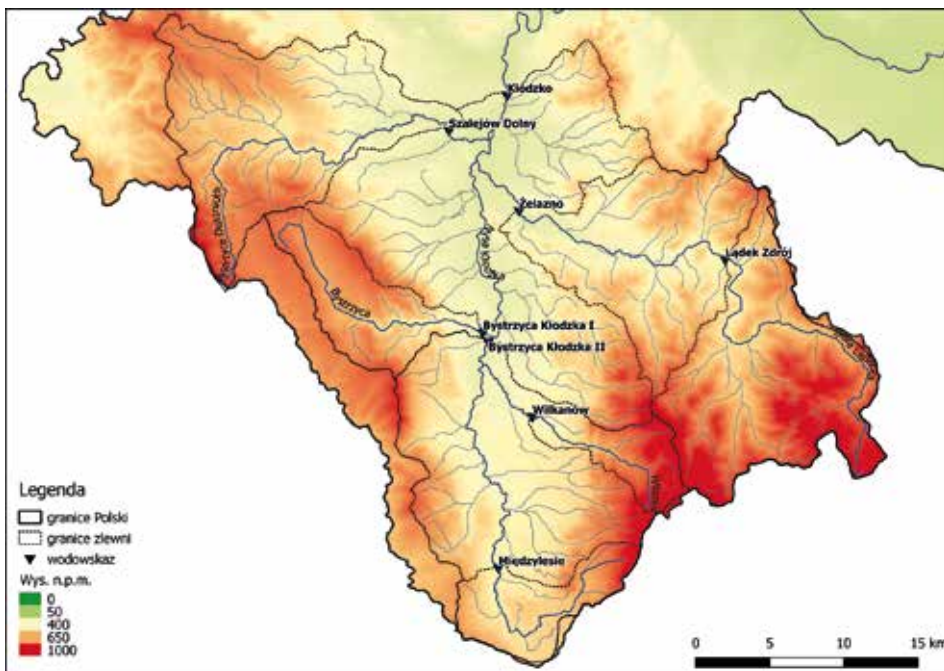
Ryc. 2. Średnie roczne opady dla analizowanych posterunków opadowych w latach 1971–2015  
 Fig. 2. Mean rainfall for analyzed precipitation gauges during 1971–2015



Ryc. 3. Wieloletnia zmienność rocznych opadów dla dwóch posterunków opadowych  
 Fig. 3. Long-term variability of annual rainfall for two precipitation stations



Ryc. 4. Rozkład opadów w przeciętnym cyklu rocznym dla stacji Kłodzko i Zieleniec  
 Fig. 4. The distribution of precipitation in the average annual cycle in Kłodzko and Zieleniec



Ryc. 5. Rzeźba zlewni oraz lokalizacja rzek i posterunków wodowskazowych  
 Fig. 5. Landform of catchments and locations of rivers and gauge stations

atmosferycznych dla 13 posterunków opadowych z lat 1971–2015. Pochodzą one z zasobów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego.

W celu przeprowadzenia badania wykorzystano zarówno metody statystyczne do analizy danych hydrometrycznych, jak i graficzne do prezentacji wyników i ich przestrzennej interpretacji. Cechy reżimu odpływu ustalono przez wykorzystanie powszechnie stosowanych w hydrologii miar i wskaźników. Odpływ całkowity został scharakteryzowany przez wskaźnik odpływu  $H$  [mm]. Do ustalenia wielkości odpływu podziemnego wykorzystano przepływy charakterystyczne. Za przeciętną wielkość odpływu podziemnego uznano medianę ze zlinearyzowanych wartości minimów miesięcznych, uporządkowanych w rosnący szereg (Kille 1970). Kolejnym krokiem było obliczenie udziału odpływu podziemnego w odpływie całkowitym.

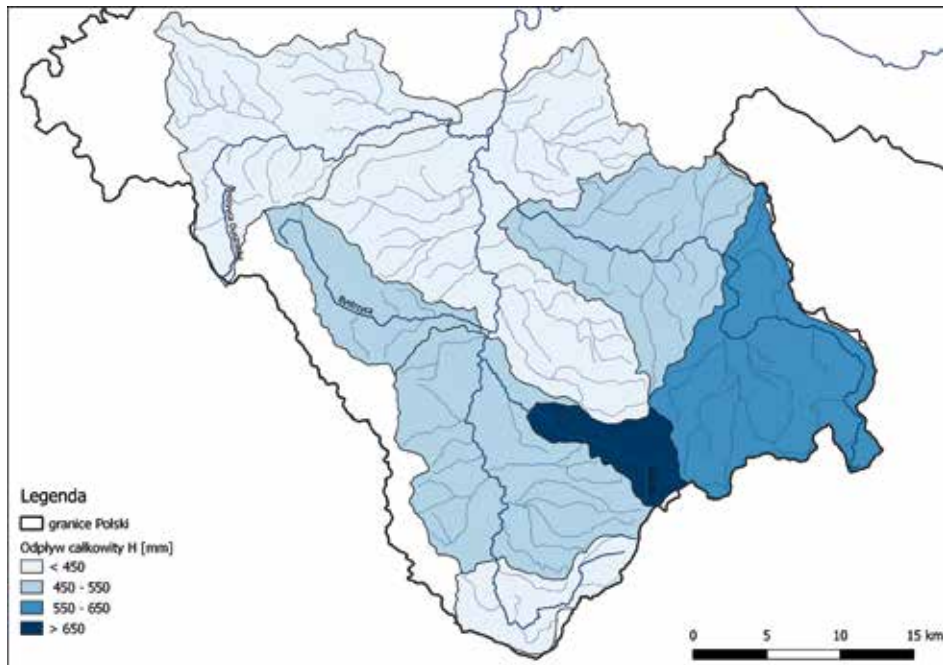
W pracy zmienność przepływów przedstawiono za pomocą współczynnika zmienności  $C_v$  [–]. Obliczono go dla przepływów dobowych oraz średnich, maksymalnych i minimalnych przepływów rocznych. Współczynnik ten jest stosunkiem odchylenia standardowego do średniej.

Analizę zróżnicowania typów reżimów poszczególnych zlewni cząstkowych oparto na kryteriach zaproponowanych przez Dynowską. Umożliwia to porównanie wyników z opracowaniami autorki – *Atlasem Rzeczypospolitej Polskiej* (1997), pracą Dynowskiej (1971) oraz pracą Dynowskiej i Pociask-Karteczki (1999). Mapę typów reżimów dla obszaru całego kraju przedstawił także Wrzeński (2017b).

## STRUKTURA ODPIYU RZECZNEGO

Odpływ całkowity w Kotlinie Kłodzkiej jest zróżnicowany (ryc. 6, tab. 2). Zlewnia Nysy Kłodzkiej po Kłodzko cechuje się odpływem w wysokości 375 mm, większe wartości odpływu notowane są w jej zlewniach cząstkowych, zamkniętych wodowskazami w Międzyzlesiu (444 mm) i Bystrzycy Kłodzkiej II (481 mm). Największym odpływem całkowitym na badanym obszarze charakteryzuje się Wilczka po Wilkanów (715 mm), nieco mniejszym Biała Łądecka po Łądek Zdrój (649 mm). Z analizowanych dopływów Nysy Kłodzkiej najniższy odpływ ma Bystrzyca Dusznicka (388 mm). Wyraźnie wyższe odpływy notuje się we wschodniej części Kotliny, na prawych dopływach Nysy Kłodzkiej.

Średnie roczne odpływy jednostkowe (SSq) wahają się od  $11,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Kłodzko) do  $22,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Wilkanów), średnie maksymalne roczne (SWq) od  $108,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Bystrzyca Kłodzka I) do  $201,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Bystrzyca Kłodzka II), a średnie minimalne roczne (SNq) od  $2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Międzyzlesie, Bystrzyca Kłodzka II) do  $6,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Łądek Zdrój) (tab. 1). Przytoczone wartości wskazują na duże zróżnicowanie



Ryc. 6. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika odpływu

Fig. 6. Spatial differentiation of the runoff indicator

warunków wodnych w analizowanych zlewniach. Przykładowo Wilczka charakteryzuje się bardzo niskim średnim przepływem, co jednak przekłada się na najwyższy odpływ jednostkowy na badanym obszarze w związku z małą powierzchnią zlewni. Ekstrema absolutne z wielolecia (WWQ oraz NNQ) wskazują na bardzo duże zróżnicowanie wielkości przepływów. Stosunek największego odnotowanego przepływu do najniższego waha się od  $107 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  do  $2473 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (tab. 1). Rekordzistami w nieregularności przepływów są Biała Łądecka (Żelazno) oraz Nysa Kłodzka (Bystrzyca Kłodzka II), natomiast najbardziej regularnymi przepływami w skali wielolecia charakteryzuje się Bystrzyca.

Nieco inaczej kształtuje się rozkład przestrzenny odpływu podziemnego (ryc. 7). Większość zlewni charakteryzuje się odpływem podziemnym między 150 mm a 250 mm, odpływ podziemny z całego analizowanego obszaru to 166 mm (tab. 2). Najniższe wartości notowane są w zlewni Nysy Kłodzkiej po profil Bystrzyca Kłodzka II. Jest to jedyna zlewnia, w której odpływ podziemny kształtuje się na poziomie poniżej 150 mm. Najwyższe wartości, podobnie jak w przypadku odpływu całkowitego, cechują zlewnię Wilczki (368 mm). Drugą co do wielkości wartości odpływu podziemnego jest zlewnia Białej Łądeckiej po Łądek Zdrój.



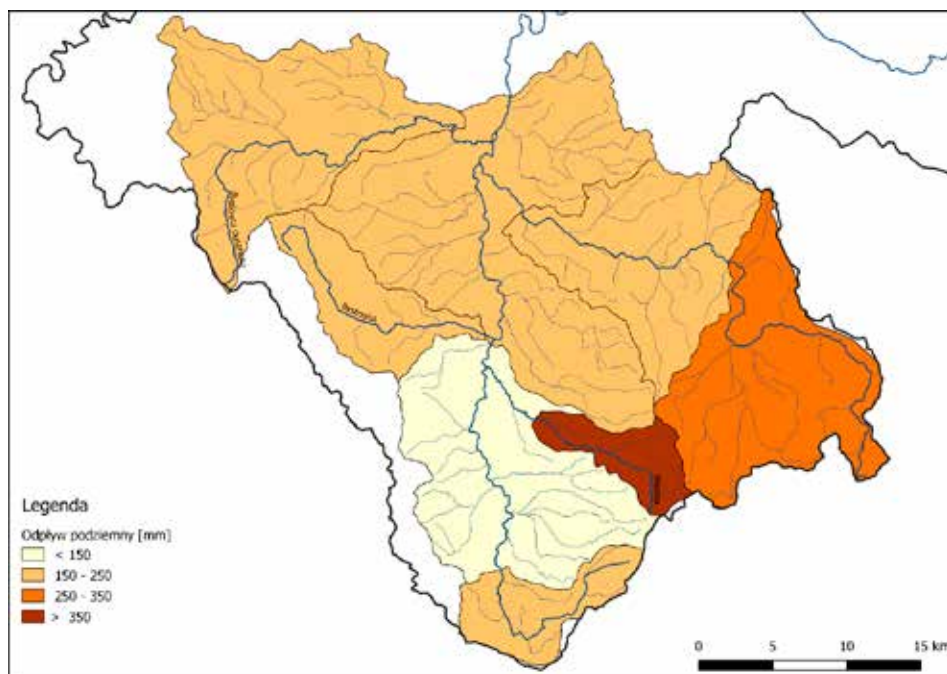
Tabela 1. Charakterystyczne przepływy i odpływy jednostkowe rzek Kotliny Kłodzkiej w latach 1971–2015  
 Table 1. Characteristic values of flow and specific runoff of rivers in Kłodzka Valley in period 1971–2015

L.p.	Rzeka	Posterunek	Przepływy [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]						Odpływy jednostkowe [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ]						WWQ/ NNQ
			SSQ	SWQ	SNQ	WWQ	NNQ	SSq	SWq	SNq	WWq	NNq			
1	Nysa Kłodzka	Międzylesie	0,7	7,4	0,1	41,7	0,05	14,1	147,9	2,5	839,0	1,0	834		
2	Nysa Kłodzka	Bystrzyca Kłodzka II	4,0	52,5	0,7	282,0	0,28	15,2	201,9	2,5	1 084,6	1,1	1 007		
3	Nysa Kłodzka	Kłodzko	12,9	133,2	3,6	693,0	1,68	11,9	122,8	3,3	639,3	1,5	413		
4	Wilczka	Wilkanów	0,8	6,1	0,2	37,3	0,06	22,7	174,0	6,4	1 062,7	1,7	622		
5	Bystrzyca Kłodzka I		1,0	6,9	0,3	17,1	0,16	15,4	108,2	4,9	267,2	2,5	107		
6	Biała Łądecka	Łądek Zdrój	3,4	30,9	1,1	270,0	0,35	20,6	185,9	6,5	1 626,5	2,1	771		
7	Biała Łądecka	Żelazno	4,9	43,1	1,5	544,0	0,22	16,1	141,5	5,0	1 783,6	0,7	2 473		
8	Bystrzyca Dusznicka	Szalejów Dolny	2,2	20,2	0,8	67,6	0,38	12,3	115,4	4,6	386,3	2,2	178		

Tabela 2. Cechy reżimu odpływu rzek Kotliny Kłodzkiej w latach 1971–2015  
 Table 2. Flow regime characteristics of rivers of Kłodzka Valley during 1971–2015

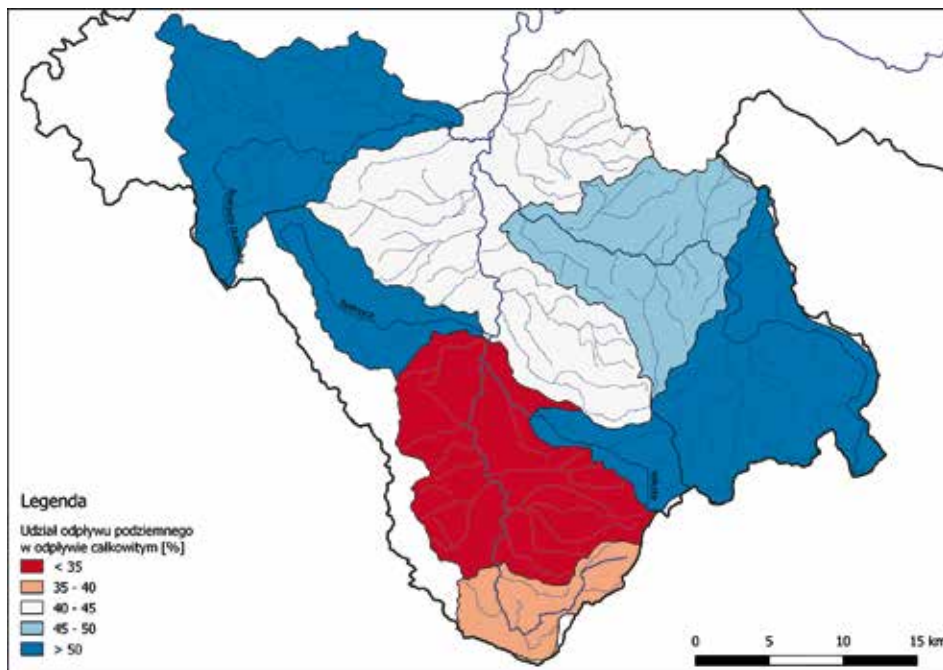
L.p.	Rzeka	Posterunek	Powierzchnia zlewni A [km <sup>2</sup> ]	Odpływ całkowity H [mm]	Odpływ podziemny		Zmienność przepływów		Typ reżimu*		
					[mm]	[%]	dobowych	rocznych		maks.	min.
1	Nysa Kłodzka	Międzylesie	49,7	444	159	35,7	1,268	0,247	0,839	0,528	2
2	Nysa Kłodzka	Bystrzyca Kłodzka II	260	481	149	31,0	1,559	0,285	0,798	0,409	4
3	Nysa Kłodzka	Kłodzko	1084	375	166	44,2	1,134	0,222	0,873	0,259	4
4	Wilczka	Wilkanów	35,1	715	368	51,5	0,996	0,247	1,021	0,460	2
5	Bystrzyca Kłodzka I		64	484	246	50,9	0,861	0,228	0,474	0,286	2
6	Biała Łądecka	Łądek Zdrój	166	649	342	52,7	1,307	0,252	1,339	0,256	4
7	Biała Łądecka	Żelazno	305	508	248	48,8	1,433	0,270	1,880	0,295	4
8	Bystrzyca Dusznicka	Szalejów Dolny	175	388	204	52,5	0,974	0,196	0,538	0,227	2

\* Typ reżimu: 2 – reżim nivalny średnio wykształcony, 4 – reżim nivalno-pluwialny.



Ryc. 7. Rozkład przestrzenny wskaźnika odpływu podziemnego  
 Fig. 7. Spatial differentiation of the underground outflow indicator

Bardziej szczegółowy obraz zróżnicowania warunków odpływu Kotliny Kłodzkiej wynika z analizy udziału odpływu podziemnego w odpływie całkowitym. Na podstawie stosunku tych wartości można wnioskować o różnicach w zasobności wodnej poszczególnych zlewni, informuje on o zdolności retencyjnej obszaru. Na terenie Kotliny Kłodzkiej szczególnie niskim udziałem odpływu podziemnego w odpływie całkowitym wyróżniają się dwie zlewnie górnej Nysy Kłodzkiej, zamknięte profilami wodowskazowymi Międzylesie i Bystrzyca Kłodzka II (ryc. 8). Analizowana zmienna przyjmuje w tych zlewniach odpowiednio: 35,7% i 31,0% (tab. 2). Całość badanego obszaru cechuje się udziałem zasilania podziemnego na poziomie 44,2%. Połowa analizowanych zlewni odznacza się udziałem odpływu podziemnego większym niż udział odpływu powierzchniowego, czyli przekraczającym 50%. Najwyższą wartość odnotowano w zlewni Białej Łądeckiej po Łądek Zdrój (52,7%). Należy zauważyć, że wszystkie zlewnie charakteryzują się mniejszą zdolnością retencyjną niż wynosi średnia krajowa (ok. 55%) (Jokiel 1994). Często większość wód opadowych i roztopowych odpływa więc w postaci spływu powierzchniowego, co z jednej strony przyczynia się do szybkiego powstawania wezbrań na rzekach (charakterystycznych dla zlewni górskich), a z drugiej strony zagrożenia występowaniem suszy hydrogeologicznej i hydrologicznej.



Ryc. 8. Udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym

Fig. 8. Ratio of underground flow volume in the total flow

## ZMIENNOŚĆ PRZEPŁYWÓW

Zmienność przepływów jest istotną miarą pozwalającą na dalszą charakterystykę reżimu odpływu. W niniejszej pracy obliczono i przeanalizowano cztery miary zmienności przepływów – dobowych, średnich rocznych, a także maksymalnych i minimalnych rocznych.

Krótkookresowe zmiany wielkości odpływu mają charakter przede wszystkim sezonowy, będący konsekwencją cyklu zmian wielkości i form zasilania w ciągu roku hydrologicznego. Oprócz tego zmienność odpływu determinują cechy środowiska przyrodniczego, decydujące o zdolności retencyjnej zlewni.

### Przepływy dobowe

Najwyższą zmiennością przepływów dobowych cechują się odcinki Nysy Kłodzkiej i Białej Łądeckiej (ryc. 9A) –  $C_v$  dla zlewni Nysy Kłodzkiej zamkniętej profilem Bystrzyca Kłodzka II wynosi 1,559, a dla zlewni Białej Łądeckiej po Żelazno 1,433. Zlewnie te odznaczają się stosunkowo niskim udziałem odpływu podziemnego w odpływie całkowitym.

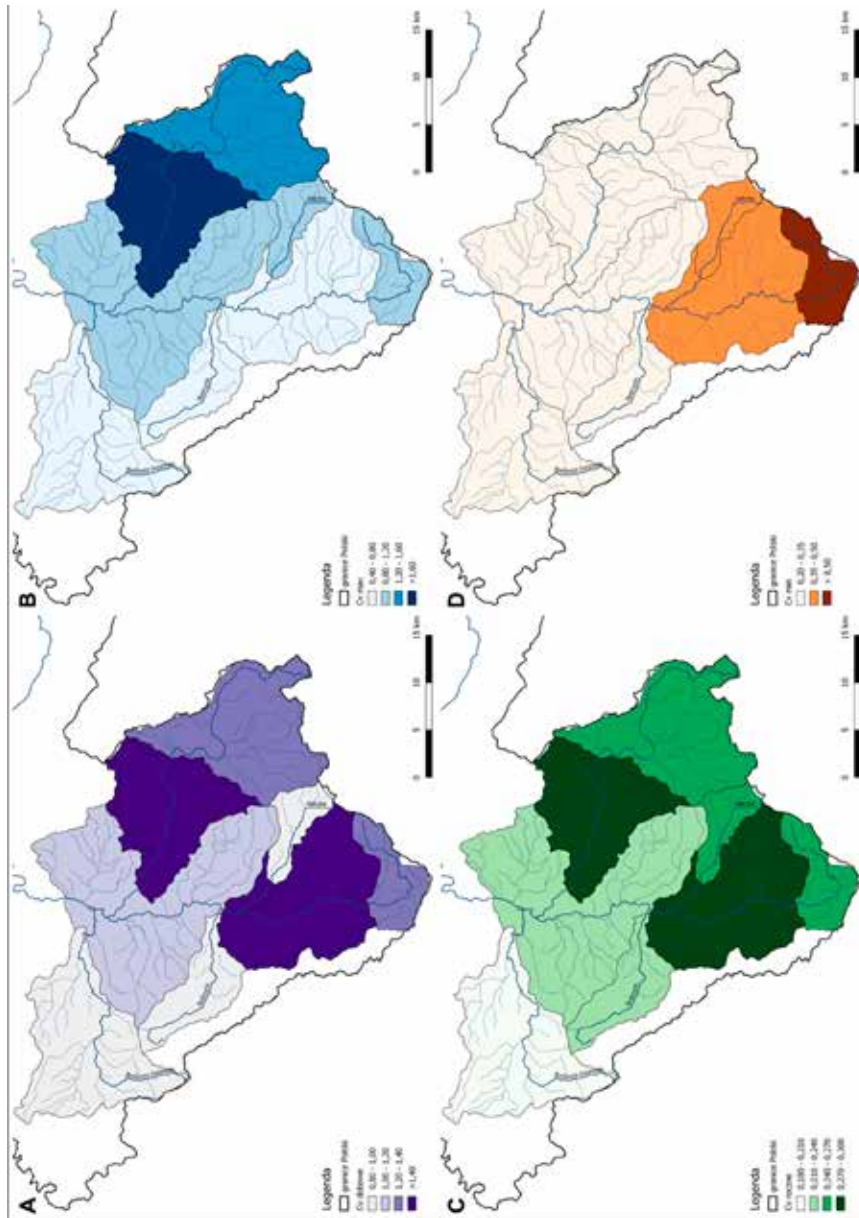
Najbardziej stabilne (czyli o najmniejszej zmienności przepływów) są przepływy Wilczki, Bystrzycy oraz Bystrzycy Dusznickiej ( $C_v < 1,00$ ). Należy zauważyć, że zlewnie tych rzek cechuje wyższy niż pozostałych zlewni udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym (ryc. 8), co bezpośrednio przekłada się na mniejszą zmienność przepływów dobowych. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że stosunek największej obliczonej zmienności do najniższej na badanym obszarze wynosi około 1,8, a np. w zlewni Warty aż około 5,2 (Wrześciński, Perz 2016). Świadczy to o stosunkowo niewielkich różnicach między zmiennością przepływów dobowych analizowanych rzek w porównaniu z innymi obszarami w Polsce. W profilu Kłodzko, zamykającym analizowany obszar, zmienność przepływów dobowych wynosi 1,134.

### Średnie przepływy roczne

Rozkład przestrzenny zmienności średnich przepływów rocznych (ryc. 9B) nieco odbiega od zaobserwowanego dla przepływów dobowych (ryc. 9A), jednak także wyróżniają się odcinki Nysy Kłodzkiej oraz Białej Łądeckiej, gdzie odnotowano najwyższe wartości zmienności – odpowiednio: 0,285 i 0,270. Najmniejszą zmiennością przepływów rocznych cechuje się Bystrzyca Dusznicka (0,196). Nysa Kłodzka w Kłodzku charakteryzuje się zmiennością równą 0,222. W tym przypadku także należy podkreślić, że zdiagnozowane różnice zmienności średnich przepływów rocznych w zlewniach Kotliny Kłodzkiej są stosunkowo niewielkie.

### Przepływy maksymalne roczne

Zmienność przepływów maksymalnych rocznych jest zdecydowanie większa niż średnich przepływów rocznych. W analizie przestrzennej wyróżnia się Biała Łądecka (ryc. 9C), gdzie w profilu Żelazno zmienność wynosi 1,880, najniższa wartość (0,474) została obliczona dla Bystrzycy. Świadczy to o możliwości występowania na Białej Łądeckiej wezbrań o skrajnie różnej wielkości w poszczególnych latach. Zmienność przepływów Białej Łądeckiej wpływa na zmienność przepływów Nysy Kłodzkiej – w jej górnym odcinku zmienność delikatnie spada wraz z biegiem rzeki (Międzyzlesie – 0,839, Bystrzyca Kłodzka II – 0,798), natomiast w profilu Kłodzko jest znowu wyższa i wynosi 0,873. Zatem zarówno w przypadku Nysy Kłodzkiej, jak i Białej Łądeckiej mamy do czynienia z dość szczególną sytuacją, w której zmienność przepływów maksymalnych rocznych rośnie wraz z biegiem rzeki (ryc. 9C).



Ryc. 9. Zmienność przepływów dobowych, rocznych, maksymalnych i minimalnych  
 Fig. 9. Variability in daily, mean annual, maximum annual and minimum annual flows

## Przepływy minimalne roczne

W przypadku przepływów minimalnych rocznych sytuacja jest odmienna (ryc. 9D). Zmienność jest tu niska i waha się od 0,227 do 0,528, przy czym na większości posterunków wodowskazowych kształtuje się na poziomie poniżej 0,350. Najwyższą zmiennością cechuje się górny odcinek Nysy Kłodzkiej (posterunki Międzyzlesie i Bystrzyca Kłodzka II). Jest to obszar o bardzo niskim udziale odpływu podziemnego w odpływie całkowitym (poniżej 40%), a z tym wiąże się niska zdolność retencyjna. Taka sytuacja może powodować występowanie głębokich niżówek i silnej zależności wielkości przepływów minimalnych rocznych od zasilania deszczowego lub śnieżnego.

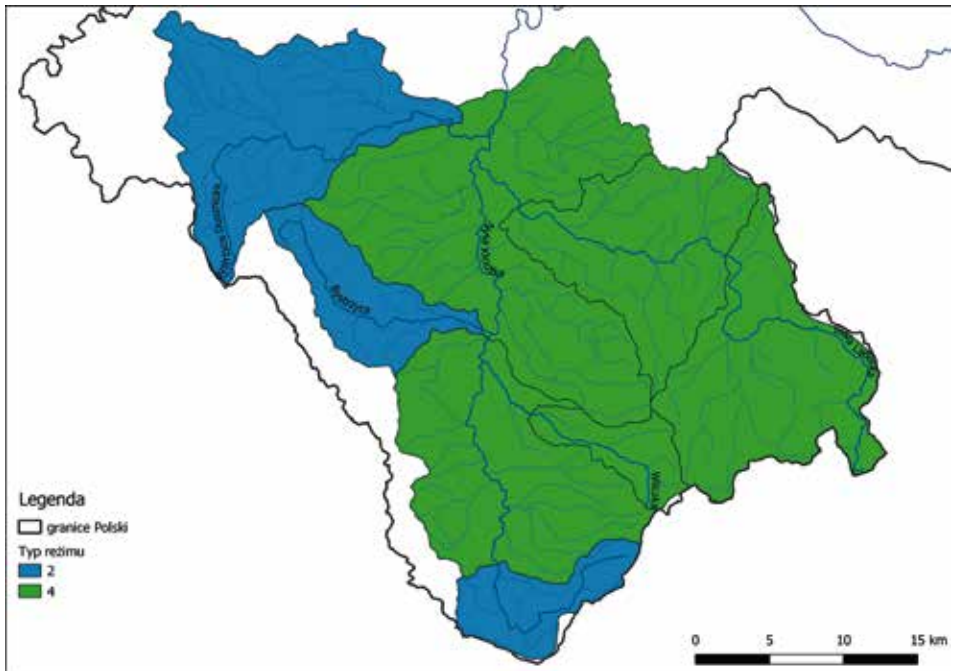
## TYPY REŻIMU

Ostatnim etapem pracy było ustalenie typów reżimów. W tym celu posłużono się klasyfikacją Dynowskiej (1999). Dynowska (1971) zakwalifikowała rzeki regionu Kotliny Kłodzkiej wraz z otaczającymi ją górami do reżimu umiarkowanego z wezbraniem wiosennym, letnim i zimowym oraz gruntowo-deszczowo-śnieżnym zasilaniem. Wrzeński (2013, 2017b) na mapie reżimu odpływu rzek w Polsce obszar Kotliny Kłodzkiej zakwalifikował do reżimów niwalno-pluwialnego oraz pluwialno-niwalnego, opierał się jednak na danych z innego wielolecia niż autor niniejszej pracy. Na podstawie danych z lat 1971–2015, z uwagi na rozkład odpływu w roku hydrologicznym, wyrażony przebiegiem i wysokością miesięcznych współczynników przepływu, badane ciekę zaliczono do dwóch spośród pięciu typów reżimów:

**Typ 2** – reżim niwalny średnio wykształcony. Średni przepływ miesiąca wiosennego (marzec–kwiecień) stanowi 130–180% średniego przepływu rocznego. Ten typ reżimu jest charakterystyczny dla górnego odcinka Nysy Kłodzkiej (po Międzyzlesie) oraz jej lewobrzeżnych dopływów – Bystrzycy i Bystrzycy Dusznickiej (ryc. 10 i ryc. 11).

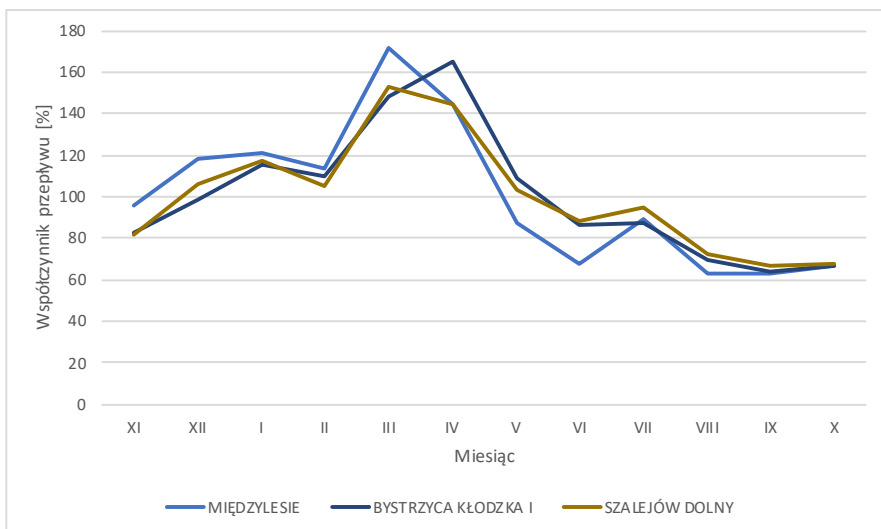
**Typ 4** – reżim niwalno-pluwialny. Średni przepływ miesiąca wiosennego (marzec–kwiecień), podobnie jak w typie 2, wynosi 130–180% średniego przepływu rocznego. Wyraźnie zaznacza się wzrost średniego przepływu w miesiącach letnich, który wynosi co najmniej 100% średniego przepływu rocznego. Tym typem reżimu charakteryzuje się Nysa Kłodzka poniżej Międzyzlesia, a także Biała Łądecka oraz Wilczka (ryc. 10 i ryc. 12).

Różnice między dwoma zidentyfikowanymi reżimami bardzo dobrze widać na wykresach (ryc. 11 i ryc. 12). Najwyższe współczynniki przepływu w przypadku reżimu niwalnego średnio wykształconego notowane są w marcu i kwietniu. W porównaniu z reżimem niwalno-pluwialnego nie uwidacznia się tak wyraźnie drugi okres zwiększonych przepływów w lipcu.



Ryc. 10. Typy reżimu odpływu rzek

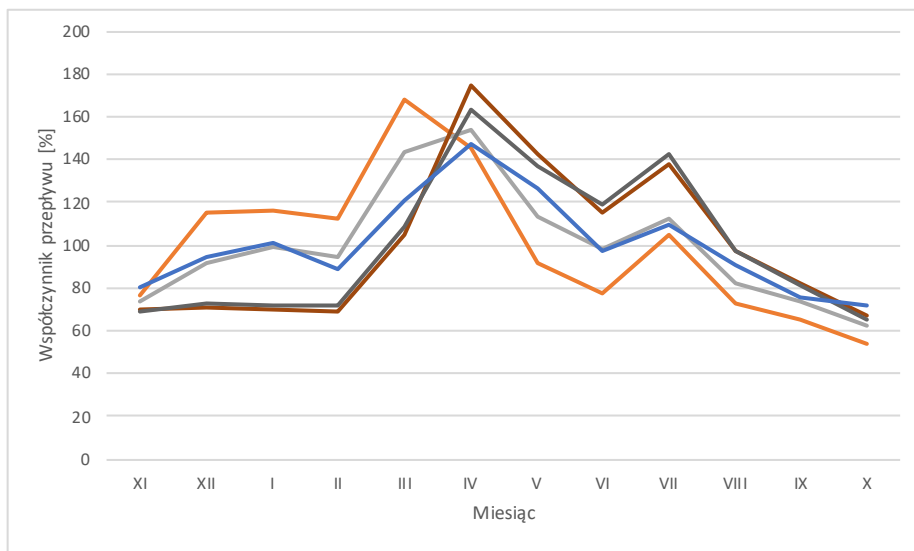
Fig. 10. Runoff regime types



Ryc. 11. Przebieg miesięcznych współczynników przepływu w posterunkach charakteryzujących się drugim typem reżimu według Dynowskiej (1999) (niwalny średnio wykształcony)

Fig. 11. The course of the coefficients of flow of gauge stations with 2<sup>nd</sup> hydrological regime type by Dynowska (1999) (nival, moderately developed)





Ryc. 12. Przebieg miesięcznych współczynników przepływu w posterunkach charakteryzujących się czwartym typem reżimu według Dynowskiej (1999) (niwalno-pluwialny)

Fig. 12. The course of the coefficients of flow of gauge stations with 4<sup>th</sup> hydrological regime type by Dynowska (1999) (nivo-pluvial)

Porównując przedstawiony rozkład reżimów (ryc. 10) z rozkładem miesięcznym sum opadów (ryc. 4), można zauważyć, że na stacji Zieleniec (okolice zlewni Bystrzycy Dusznickiej i Bystrzycy) notowane są wysokie opady nie tylko w lipcu, ale także w miesiącach zimowych. Może to przekładać się na inną kwalifikację reżimu tych rzek (reżim niwalny średnio wykształcony).

## WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Mimo stosunkowo niewielkich rozmiarów badany obszar charakteryzuje się różnymi warunkami odpływu w poszczególnych zlewniach. Należy podkreślić, że w przypadku niektórych wskaźników różnice są zauważalne, jednakże w porównaniu z innymi obszarami kraju stosunkowo małe (por. Wrześniński, Perz 2016). Jednak nawet te stosunkowo niewielkie zróżnicowanie ostatecznie wpływa na różną kwalifikację poszczególnych zlewni pod względem typu reżimu (ryc. 10).

Wschodnia część obszaru (Wilczka i Biała Łądecka) pod względem wielu parametrów odstaje od pozostałych analizowanych zlewni. Cechują się one wyraźnie wyższym odpływem całkowitym i podziemnym, Biała Łądecka odznacza się także wysoką zmiennością przepływów dobowych, średnich i maksymalnych rocznych. Ciekawie przedstawia się również podział obszaru na dwa typy

reżimu, co świadczy o zróżnicowanych źródłach zasilania rzek oraz o różnej dynamice przepływów w ciągu roku. Potwierdza to różny rozkład opadów w ciągu roku w poszczególnych częściach analizowanego obszaru.

Badany obszar znany jest z często występujących powodzi i gwałtownych wezbrań. Częściowo mogą być za to odpowiedzialne zmiany zagospodarowania terenu, zarówno antropogeniczne (znaczne wylesienie, uszczelnianie powierzchni, rosnąca presja turystyczna, budowa wałów transferujących fale wezbraniowe w niższe partie zlewni), jak i naturalne (np. wiatrołomy, układ hydrograficzny). Nysa Kłodzka w naturalny sposób kumuluje wody spływające z otaczających ją górskich terenów, wzdłuż jej biegu występuje kilka istotnych węzłów hydrograficznych powodujących w warunkach wysokich opadów lub gwałtownych odwilży bardzo szybkie formowanie się fal powodziowych. Bednorz i in. (2019) wskazali na istotną rolę warunków synoptycznych na występowanie powodzi oraz na niemal natychmiastową reakcję w postaci ekstremalnych odpływów rzek. Autorzy przyczyn takiego stanu upatrują w niskiej zdolności retencyjnej związanej z pochyłością terenu oraz niską przepuszczalnością podłoża, co potwierdza m.in. niski udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym (ryc. 8).

W przeszłości, jak i obecnie, jako odpowiedź na istniejące zagrożenie powodziowe oraz historycznie występujące tutaj wielkie powodzie, na rzekach Kotliny Kłodzkiej realizowane są inwestycje przeciwpowodziowe, w tym budowa suchych zbiorników przeciwpowodziowych, np. w ramach projektu „Ochrona przeciwpowodziowa w dorzeczu Odry i Wisły”, finansowanego ze środków Międzynarodowego Banku Odbudowy i Rozwoju (Bank Światowy) oraz Banku Rozwoju Rady Europy, jak również przy wsparciu środków z Funduszu Spójności UE oraz budżetu państwa.

## LITERATURA

- Bednorz E., Wrzeński D., Tomczyk A.M., Jasik D., 2019: *Classification of Synoptic Conditions of Summer Floods in Polish Sudeten Mountains*. Water, 11, 1450.
- Dubicki A., Słota H., Zieliński J., 1999: *Dorzecze Odry: Monografia powodzi lipiec 1997*. IMGW, Warszawa.
- Dynowska I., 1971: *Typy reżimów rzecznych w Polsce*. Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 28.
- Dynowska I., Pociask-Karteczka J., 1999: *Obieg wody*, [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 343–373.
- Jeziorska J., Niedzielski T., 2018: *Applicability of TOPMODEL in the mountainous catchments in the upper Nysa Kłodzka river basin (SW Poland)*. Act. Geoph., 66, 2, 203–222.
- Jokiel P., 1994: *Zasoby, odnawialność, i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*. Act. Geograph. Lodz., 66–67.
- Kille K., 1970: *Das Verfahren MoMNO, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse*. Z. Deutch., Geol. Ges., Sonderh., Hydrogeol., Hydrogeochem., Hannover.
- Kondracki J., 2013: *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

- Łach J., 2009: *Historia wezbrań powodziowych na Ziemi Kłodzkiej i ich wpływ na kierunek przekształceń den dolinnych Nysy Kłodzkiej i Białej Łądeckiej*. Nauka Przyroda Technologie, t. 3, 3.
- Łach J., 2012: *Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Kotliny Kłodzkiej oraz zachodnich pasm górskich Sudetów Wschodnich*. Inst. Geogr. i Rozw. Reg. UW, Wrocław.
- Morawska-Horawska M., 1971: *Meteorologiczne przyczyny powodzi w Polsce południowej w lipcu 1970 roku*. Przegl. Geofiz., 4, 299–315.
- Niedzielski T., Miziński B., 2017: *Real-time hydrograph modelling in the upper Nysa Kłodzka river basin (SW Poland): a two-model hydrologic ensemble prediction approach*. Stochastic Environmental Res. and Risk Assessment, 31, 6, 1555–1576.
- Rutkowska A., Willems P., Niedzielski T., 2017: *Relation between design floods based on daily maxima and daily means: use of the Peak Over Threshold approach in the Upper Nysa Kłodzka Basin (SW Poland)*. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8, 2, 585–606.
- RZGW we Wrocławiu, 2013: *Opracowanie charakterystyki zlewni bilansowej rzeki Nysy Kłodzkiej*.
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., et al. podać wszystkich autorów 2018: *Physico-geographical mesoregions of Poland: verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data*. Geogr. Pol., 91(2), 143–170.
- Staff M. (red.), 1993: *Słownik geografii turystycznej Sudetów*. T. 15: *Kotlina Kłodzka i Rów Górnej Nysy*. I-BiS, Wrocław, 315–318.
- Stodolak R., Baran J., Knap E., 2018: *Wpływ przyjętych rozkładów czasowych zmienności deszczu na wyniki modelowania opad–odpływ*. Inż. Ekol., 19(6), 87–93.
- Szalińska W., Otop I., Tokarczyk T., 2014: *Precipitation extremes Turing flooding in the Odra River Basin in May–June 2010*. Meteor. Hydr. Water Manag. Res. Oper. Appl., 2, 13–20.
- Szalińska W., Tokarczyk T., Jełowicki J., Chorążyczewski A., Michalski A., Tiukała A., Ostojski M., 2014: *Środowisko obliczeniowe operacyjnego modelu typu opad–odpływ*. Monogr. Kom. Gosp. Wodnej PAN, z. 20.
- Świątek M., 2013: *Advection of air masses responsible for extreme rainfall totals in Poland, as exemplified by catastrophic floods in Racibórz (July 1997) and Dobczyce (May 2010)*. Act. Agrophys., 20, 481–494.
- Tokarczyk T., Olearczyk D., 2011: *Hydrografia Ziemi Kłodzkiej*. Starostwo Powiatowe w Kłodzku.
- Wrona B., 2008: *Meteorologiczne i morfologiczne uwarunkowania ekstremalnych opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej i środkowej Odry*. Mat. Bad., Ser.: Meteor., 41, IMGW, Warszawa.
- Wrzesiński D., 2013: *Entropia odpływu rzek w Polsce*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Wrzesiński D., 2017a: *Typologia reżimu odpływu rzek w Polsce w podejściu nadzorowanym i nie-nadzorowanym*. Bad. Fizjograf., R. 8, Ser. A – Geogra. Fiz. (A68), PTPN, Poznań, 253–264.
- Wrzesiński D., 2017b: *Reżimy rzek Polski*, [w:] P. Jokiel, W. Marszelewski, J. Pociask-Karteczka (red.), *Hydrologia Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 215–221.
- Wrzesiński D., Perz A., 2016: *Cechy reżimu odpływu rzek w zlewni Warty*. Bad. Fizjograf., R. 7, Ser. A – Geogr. Fiz. (A67), PTPN, Poznań, 289–304.