

## ZMIANY ODPLYWÓW JEDNOSTKOWYCH W NIZINNEJ CZĘŚCI POLSKI W LATACH 1961–2021

### Changes in specific discharge in the lowland part of Poland in the years 1961–2021

MAŁGORZATA ŚWIĄTEK<sup>1</sup> 

**Zarys treści.** Przedmiot badań stanowiła analiza zmian zasobów wodnych nizinnej części Polski na podstawie wielkości odpływów jednostkowych z 39 zlewni zlokalizowanych na pobrzeżach, pojezierzach i nizinach w latach hydrologicznych 1961–2021. Analizy przeprowadzono w oparciu o trendy zmian średnich rocznych oraz miesięcznych odpływów z poszczególnych zlewni z uwzględnieniem ich istotności statystycznej. Wykonano również grupowanie zlewni metodą Warda pod względem tempa obserwowanych zmian (współczynników kierunkowych trendu) odpływów jednostkowych w poszczególnych miesiącach.

Niemalże w połowie badanych zlewni wykazano istotny spadek średnich rocznych odpływów jednostkowych. W żadnej nie odnotowano istotnego statystycznie trendu wzrostowego tego parametru. W większości zlewni odnotowano spadki odpływów w miesiącach wiosennych (kwiecień i maj), a w czterech wzrosły w miesiącach zimowych (styczeń i luty). Największe ubytki zasobów wodnych, mierzonych wielkością odpływu jednostkowego, cechowały zlewnie z terenów równinnych o małej naturalnej retencyjności położonych w obrębie nizin.

**Słowa kluczowe:** odpływy rzeczne, trendy, grupowanie statystyczne, zlewnie nizinne

**Abstract.** The subject of the study was the analysis of changes in water resources in lowland Poland based on the volume of specific discharge from 39 catchments located on coastlines, in lake districts and in lowlands in the hydrological years 1961–2021. The analyses were based on trends in average annual and monthly runoff from individual catchments, taking into account their statistical significance. Catchments were also clustered using the Ward method in terms of the pace of the observed changes (slope trend coefficients) in specific discharges in individual months.

Approximately half of the studied catchments showed a significant decrease in average annual specific discharges. None recorded a statistically significant increase in this parameter. Most catchments recorded declines in runoff in the spring months (April and May), and four recorded increase in runoff in the winter months (January and February). The most significant changes in water resources measured by the amount of specific discharge occurred in catchments located in plains characterised by low natural retention and situated within the lowlands.

**Key words:** river runoff, trends, cluster analysis, lowland catchments

## Wprowadzenie

W związku ze zmianą klimatu dotyczącą między innymi Polski (Degirmendzić i in. 2004; Rutgersson i in. 2014; Malinowska 2015; Ustrnul i in. 2021) istnieje realne ryzyko ubytku zasobów wodnych, gdyż wzrośtowi parowania, wynikającemu

ze wzrostu temperatury powietrza, nie towarzyszy zwiększanie się sum opadów (Malinowska 2015; Łupikasa, Małarzewski 2021). Wprawdzie niektóre analizy wskazują, że w drugiej połowie XX wieku wzrastała liczba dni z opadem, ale nie przekładało się to na ogólny wzrost sum opadów i skutkowało spadkiem średniej dobowej sumy opadu (Wibig 2009). Inne badania dokumentują

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Szczeciński, Instytut Nauk o Morzu, ul. Mickiewicza 16, 70-384 Szczecin; e-mail: [malgorzata.swiatek@usz.edu.pl](mailto:malgorzata.swiatek@usz.edu.pl), ORCID: 0000-0001-5163-559X

zmniejszanie się liczby dni z opadem przy jednocześnie większej ich intensyfikacji oraz wydłużanie się okresów bezopadowych (Kundzewicz i in. 2022). Roczne sumy opadów przejawiały niewielkie tendencje wzrostowe, ale istotne statystycznie były jedynie sumy opadów w marcu (Degirmendzić i in. 2004). Problem zbyt małych zasobów wodnych bardzo nasilił się w ostatnich latach (od 2018 roku) w związku z długimi okresami bezopadowymi i małymi sumami opadów (*Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski* 2024). Stwarza to wiele zagrożeń, zarówno przyrodniczych, jak i gospodarczych. Tym bardziej, że Polska należy do najmniej zasobnych w wodę krajów Europy w przeliczeniu na jednego mieszkańca (Eurostat 2022; Kundzewicz i in. 2022). Istotne staje się więc zbadanie czy na obszarze Niżu Polskiego występują trendy malejące zasobów wodnych (w pracy określone za pomocą odpływów jednostkowych), czy może obserwowane w latach 2018–2023 przejawy suszy na terenie Polski (np. *Wody Polskie i ZE PAK...* 2021) są zjawiskami wyjątkowymi (unikatowymi). Badania zmian zasobów wodnych w Polsce są tym istotniejsze, że obszar ten położony jest w strefie przejściowej między obszarem wzrostów zasobów wodnych w zlewniach w północnej Europie a ich spadków w południowej części kontynentu (Milly i in. 2005; Malinowski, Skoczko 2018; Caretta, Mukherji 2022), zaś modele prognostyczne nie określają jednoznacznie dalszych kierunków ich zmian w środkowej Europie (Milly i in. 2005; Seager, Vecchi 2010). Scenariusze przygotowane dla Polski (*Wpływ zmian...* 2012) wskazują na bardzo nie-

wielkie wzrosty sum opadów zimą i latem oraz ich spadki jesienią. Wiosną w północnej części Polski przewidywane są spadki opadu a w południowej – wzrosty.

Celem pracy jest identyfikacja trendów zmian odpływów jednostkowych w wybranych zlewniach nizinnej części Polski, zarówno w ujęciu rocznym, jak i miesięcznym. Analizowane w pracy odpływy jednostkowe stanowią miarę zasobów wodnych w poszczególnych zlewniach ze względu na fakt, iż są kształtowane pod wpływem powierzchniowej i podziemnej składowej odpływu, reagują na impulsy zasilania oraz odpowiadają na proces recesji odpływu w fazie reżimu własnego. Badania ich trendów umożliwiają więc wskazanie zasadniczych cech czasowego i przestrzennego zróżnicowania zasobów wodnych. Dodatkowy cel pracy stanowi próba ustalenia podobieństwa zmian w wyznaczonych grupach zlewni.

Podobne badania, podejmowane były już wcześniej, między innymi w odniesieniu do zlewni Warty (Ilnicki i in. 2014) czy niedużych zlewni rzek środkowej Polski (Banasik, Hejduk 2012; Krajewski i in. 2019). Spadki zasobów wodnych są tam szczególnie niebezpieczne ze względu na istnienie ich deficytów już teraz utrudniających wegetację roślinną (Kozuchowski 2013). Badane były również zmiany odpływów najważniejszych rzek Polski: Wisły, Odry i Warty (Wrzesiński i in. 2023), Narwi (Malinowski, Skoczko 2018) i rzek Przymorza (Świątek, Walczakiewicz 2022) oraz w ogólniejszym ujęciu – na terenie całej Polski (Wrzesiński 2009; Piniewski i in. 2018, Wrzesiński, Sobkowiak 2018; Brzeziński i in. 2023).

## Obszar badań

Do analiz wybrano 39 zlewni znajdujących się w całości w Polsce w obrębie półwyspu, pojezierzy oraz nizin (tab. 1; rys. 1). Żadna z wytypowanych zlewni nie obejmowała terenów górskich lub wyżynnych. Zbadano tylko te rzeki, które miały pełne ciągi danych od roku hydrologicznego 1961 do roku 2021. Zanotowane braki pojedynczych miesięcy uzupełniono średnimi wartościami wieloletnimi, co nie rzutowało znacząco na wyniki badań i zostało uwzględnione w ich interpretacji. Zlewnie rzek z pełnymi seriami danych nie pokrywają, niestety, terenu Polski nizinnej równomiernie.

Wykaz badanych rzek i posterunków wodowskazowych został zawarty w Tabeli 1. Podano w niej również powierzchnie zlewni i średnie odpływy jednostkowe oraz miary ich zmienności. Z reguły zlewnie nie zamykają się w ujściu danej rzeki a w przekroju wodowskazowym, dla którego istnieje pełna seria danych (rys. 1). W przypadku rzek uchodzących bezpośrednio do morza posterunki wodowskazowe znajdują się stosunkowo daleko od ujścia rzeki ze względu na możliwość wystąpienia cofki.

Tabela 1

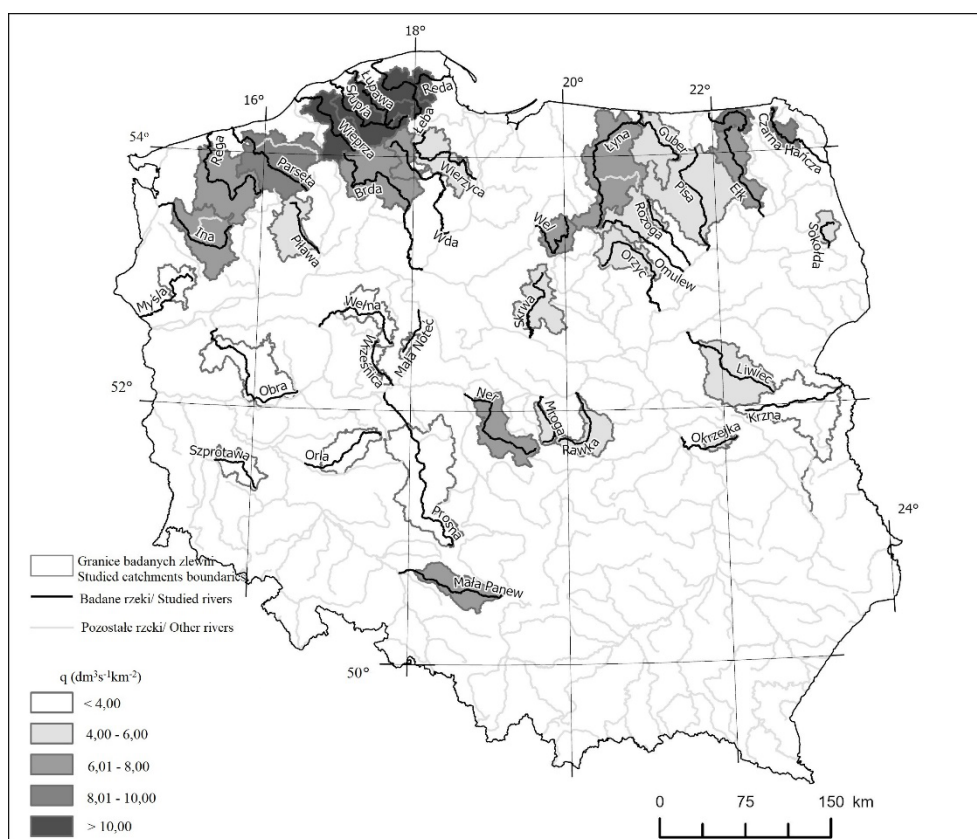
Położenie i podstawowe cechy odpływu w zlewniach objętych opracowaniem (1961–2021)

A – powierzchnia zlewni; odpływ jednostkowy:  $q$  – wartość średnia,  $\delta$  – odchylenie standardowe,  
Cv – współczynnik zmienności; zlewnie uszeregowano malejąco pod względem odpływu jednostkowego

Location and basic runoff features in studied catchments, 1961–2021

A – catchment area; specific discharge:  $q$  – average value,  $\delta$  – standard deviation,  
Cv – variation coefficient; catchments are arranged in descending order of specific discharge

Rzeka/ <i>River</i>	Wodowskaz/ <i>Water gauge</i>	Region/ <i>Region</i>	A [km <sup>2</sup> ]	$q$ [dm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ]	$\delta$ [dm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ]	Cv	
Reda	Wejherowo	Przymorze/ <i>Seaside</i>	406	10,96	1,23	0,12	
Słupia	Słupsk		1450	10,84	1,22	0,11	
Wieprza	Stary Kraków		1519	10,57	1,55	0,15	
Łeba	Cecenowo		1120	10,44	1,26	0,12	
Łupawa	Smółdzino		805	10,40	1,35	0,13	
Parsęta	Bardy		2869	9,30	1,71	0,18	
Rega	Trzebiatów		2628	7,69	1,52	0,20	
Łyna	Sępól		3647	10,84	1,47	0,22	
Gołdapa	Banie Mazurskie	Pojezierza/ <i>Lake districts</i>	548	8,26	2,21	0,27	
Czarna Hańcza	Czerwony Folwark		481	8,03	1,43	0,19	
Brda	Tuchola		2462	7,95	0,98	0,12	
Ełk	Przechody		1456	6,92	2,11	0,31	
Wda	Czarna Woda		845	6,64	1,21	0,16	
Wel	Kuligi		787	6,59	1,18	0,18	
Ina	Goleniów		2163	6,04	1,72	0,28	
Piława	Zabrodzie		1375	5,54	1,01	0,18	
Wierzyca	Brody Pomorskie		1544	5,54	1,10	0,20	
Omulew	Krukowo		1265	5,35	1,27	0,24	
Guber	Prosna		1568	5,30	1,82	0,34	
Sokołda	Sokołda		464	4,89	1,16	0,24	
Rozoga	Myszyniec		231	4,84	1,39	0,29	
Orzyc	Krasnosielc		1268	4,46	1,27	0,28	
Skrwa	Parzeń		1534	4,07	1,66	0,41	
Myśla	Dolsk		729	2,92	1,24	0,41	
Mała Panew	Turawa		Niziny/ <i>Lowlands</i>	1424	6,09	2,07	0,34
Ner	Dąbie			1712	6,02	1,88	0,31
Pisa	Dobrylas	4061		5,64	1,32	0,23	
Okrzejka	Mika	300		4,94	1,75	0,35	
Mroga	Bielawy	467		4,82	1,07	0,22	
Liwiec	Łochów	2466		4,30	1,33	0,31	
Rawka	Kęszyce	1191		4,11	0,90	0,22	
Orla	Korzeńsko	1217		3,81	1,99	0,55	
Prosna	Bogusław	4304		3,72	1,30	0,35	
Krzna	Małowa Góra	3128		3,55	1,09	0,31	
Szprotawa	Szprotawa	863		3,55	1,37	0,38	
Obra	Bledzew	2618		3,44	1,19	0,35	
Mała Noteć	Gębice	176		3,18	1,69	0,52	
Wełna	Pruśce	1130		3,09	1,62	0,53	
Wrześnica	Samarzewo	360		2,76	1,48	0,53	



Rys. 1. Lokalizacja badanych zlewni z wysokością odpływów jednostkowych ( $q$ ) w latach 1961–2021

Location of studied catchments with value of specific discharge ( $q$ ), 1961–2021

## Dane i metody

Odpływ jednostkowy wyznaczono na podstawie średnich miesięcznych wartości przepływów rzecznych z lat hydrologicznych 1961–2021 opublikowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW–PIB).

Badane zlewnie scharakteryzowano za pomocą średniego wieloletniego odpływu jednostkowego oraz jego odchylenia standardowego wyznaczonego na podstawie średnich rocznych odpływów jednostkowych i współczynnika zmienności ( $C_v$ ), czyli stosunku odchylenia standardowego do średniej wieloletniej. Obliczono również miary tendencji centralnej (średnią i medianę) oraz kwartyłe (dolny i górny) umożliwiające określenie rozstępu ćwiartkowego stanowiącego miarę zmienności. Statystyki te oszacowano dla średnich wieloletnich odpływów jednostkowych ze wszystkich badanych zlewni i zaprezentowano w formie wykresów pudełkowych.

Do określenia wielkości zmian odpływów, zarówno rocznych, jak i miesięcznych, wykorzystano analizę regresji liniowej, w której zmienną niezależną był czas, czyli analizę trendu. Istotność

statystyczną zidentyfikowanych zależności weryfikowano za pomocą testu Fishera-Snedecora na poziomie istotności  $p \leq 0,05$ . Wyznaczono również współczynniki determinacji ( $R^2$ ), będące miarą dopasowania linii trendu do danych empirycznych. Dla szeregów średnich rocznych odpływów jednostkowych, najlepiej dopasowanych do danych, zaprezentowano linie trendu oraz wyznaczono ich równania. Wyznaczenie trendów dla średnich miesięcznych wartości odpływów jednostkowych w latach hydrologicznych 1961–2021 umożliwiło wyodrębnienie miesięcy, w których najczęściej występowały istotne statystycznie zmiany odpływów jednostkowych. Oszacowane w wyniku analizy współczynniki kierunkowe trendu zmian średnich miesięcznych odpływów jednostkowych poddano aglomeracji metodą Warda z zastosowaniem odległości euklidesowych. Otrzymano w ten sposób skupienia zlewni o podobnych cechach zmian odpływów w poszczególnych miesiącach roku. Punkt odcięcia skupień określono na podstawie wykresu przebiegu aglomeracji, biorąc pod uwagę największy przyrost odległości wiązań w procesie wiązania. Skupienia te zaprezentowano na mapie (rys. 8) i obliczono dla nich średnie wartości współczyn-

ników kierunkowych trendu w poszczególnych miesiącach (rys. 9).

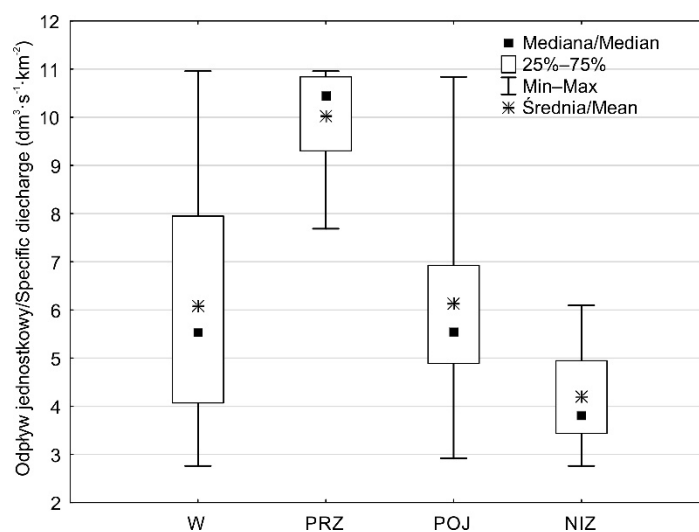
## Wyniki

### Charakterystyka odpływów jednostkowych

Średni wieloletni odpływ jednostkowy w latach 1961–2021 wyniósł  $5,98 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  i był bardzo zróżnicowany przestrzennie: od  $2,76 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w zlewni Wrześnicy w Wielkopolsce do  $10,96 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w zlewni Redy odwadniającej wschodnią część Pojezierza Kaszubskiego (tab. 1). Odchylenie standardowe wyniosło średnio  $1,44 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  – zmieniało się w zakresie od  $0,90 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w zlewni Rawki na Mazowszu do  $2,21 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w zlewni Gołdapi położonej w najwyższej wyniesionej północno-wschodniej części Pojezierza Mazurskiego. Współczynnik zmienności średnich rocznych odpływów przyjmował najmniejsze wartości w zlewniach rzek Przymo-

rza ( $C_v = 0,11\text{--}0,13$ ): Słupi, Redzie, Łebie i Łupawie, a największe w zlewniach Wielkopolski ( $C_v = 0,52\text{--}0,55$ ): Orli, Wełny, Wrześnicy i Małej Noteci, zwanej też Notecią Zachodnią (tab. 1).

Największe odpływy jednostkowe cechowały zlewnie Przymorza, a najmniejsze nizin (rys. 1, 2). Największy odpływ roczny odnotowano w zlewni Wieprzy (Przymorze) w 1981 roku, kiedy wyniósł on  $15,29 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . Najmniejszy natomiast wystąpił w zlewni Orli (niziny) w roku 2020 (było to  $0,58 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ). Zróżnicowanie między poszczególnymi zlewniami pod względem średnich wieloletnich odpływów jednostkowych, mierzone rozstępem ćwiartkowym oraz amplitudą bezwzględną odpływu, było największe na pojezierzach (rys. 2), ponieważ w zlewniach położonych w południowej części tego regionu średnie wieloletnie odpływy były dużo niższe (od  $2,95 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w zlewni Myśli) niż w północnej (do  $10,84 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w zlewni Łyny).



Rys. 2. Rozkład średnich rocznych odpływów jednostkowych (1961–2021)

W – wszystkie zlewnie, PRZ – zlewnie Przymorza, POJ – zlewnie pojezierne, NIZ – zlewnie nizinne

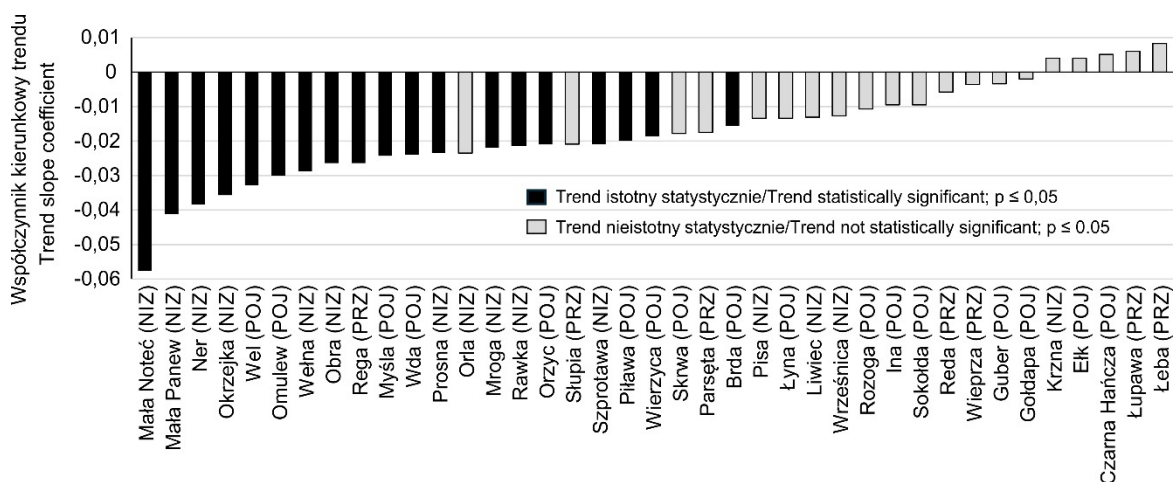
Distribution of mean annual specific discharges, 1961–2021

W – all catchments, PRZ – seaside catchments, POJ – lake district catchments, NIZ – lowland catchments

### Zmiany rocznych odpływów jednostkowych

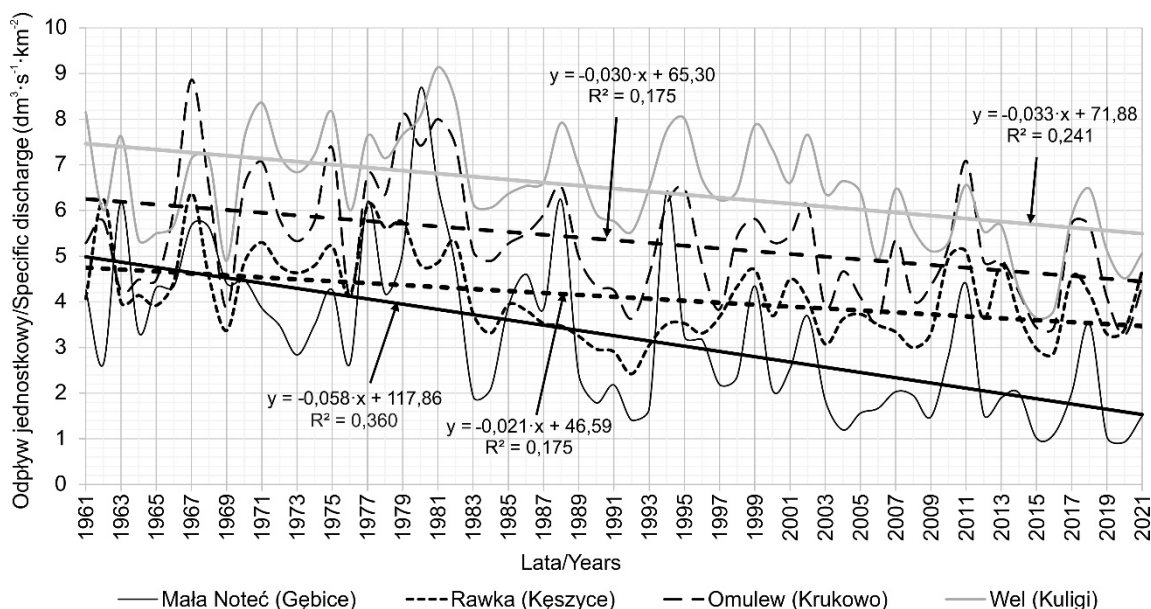
Analiza trendów odpływów jednostkowych w badanych zlewniach wykazała w 34 przypadkach tendencje malejące (rys. 3), a w 19

zlewniach istotne statystycznie spadki ich średnich rocznych wartości, co stanowiło niemalże połowę (48,7%) próbki badawczej. Niewielkie wzrosty odpływów jednostkowych cechowały jedynie zlewnie Łeby, Łupawy, Czarnej Hańczy, Ełku i Krzyny zloka-



Rys. 3. Rozkład współczynników kierunkowych trendów średnich rocznych odpływów jednostkowych w latach 1961–2021 (oznaczenia zlewni jak na Rysunku 2)

Distribution of trend slope coefficient of mean annual specific discharges in multiannual period 1961–2021 (for catchment notations, see Figure 2)



Rys. 4. Przykłady tendencji zmian średnich rocznych odpływów jednostkowych w zlewniach o najwyższym współczynniku dopasowania trendu

$R^2$  – współczynnik determinacji zidentyfikowanego równania trendu

Examples of tendencies of average annual specific discharge change in catchments with the highest determination coefficient

$R^2$  – determination coefficient of established trend equation

lizowane (oprócz Krzyny) w północnej części badanego obszaru. Nie były one jednak istotne statystycznie.

Najwyższe ujemne wartości współczynników kierunkowych trendu cechowały średnie roczne odpływy jednostkowe ze zlewni Małej Noteci oraz Małej Panwi, Neru i Okrzejki położonych w obrębie Nizin Środ-

kowopolskich (rys. 3), natomiast najlepsze dopasowanie trendu do wartości empirycznych dotyczyło zlewni Małej Noteci, Rawki, Omulwi i Welu (rys. 4).

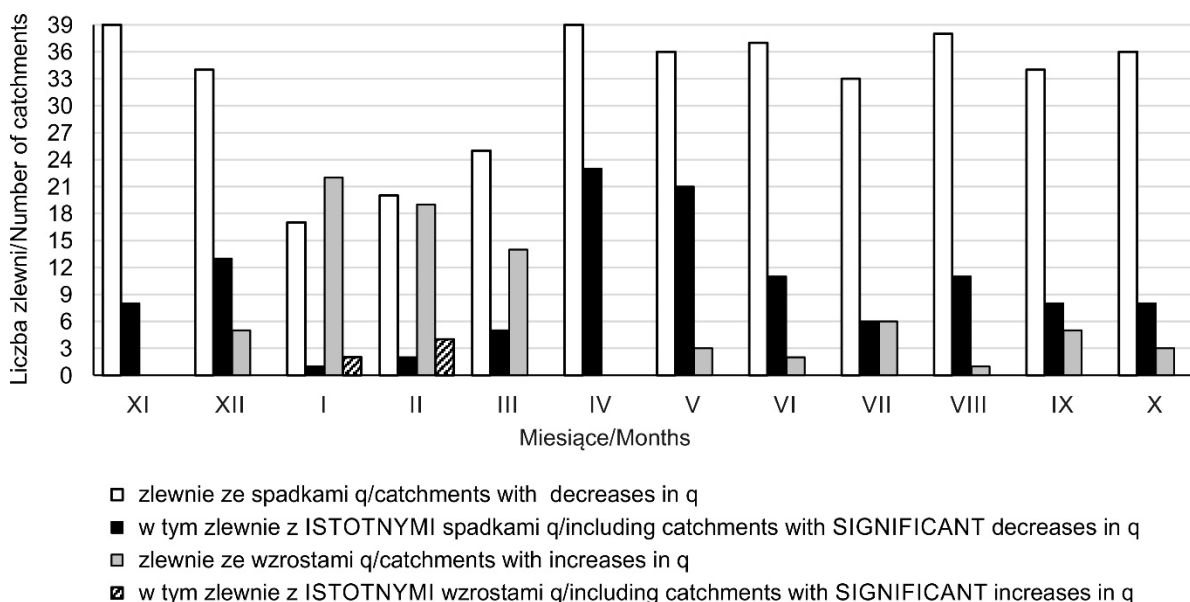
Analiza wartości współczynników kierunkowych trendów liniowych rocznych odpływów jednostkowych (rys. 3) wykazała, że zlewnie nizinne cechuje większe tempo zmian

wieloletnich niż zlewnie położone w północnej części pojezierzy i zlewnie rzek uchodzących bezpośrednio do morza.

### Zmiany średnich miesięcznych odpływów jednostkowych

Z analizy zmian odpływów miesięcznych wynika, że najczęściej istotnych statystycznie malejących trendów odpływów jednostkowych stwierdzono w kwietniu i maju (tab. 2; rys. 5). Istotne statystycznie spadki zasobów wodnych w tych miesiącach dotyczyły większości badanych zlewni. W kwietniu zmiany tej rangi odnotowano w 23 (59%) badanych zlewniach,

a w maju – w 21 (54%). W styczniu zaobserwowano istotny statystycznie spadek odpływu jednostkowego w zlewni Małej Noteci, podczas gdy w zlewniach Łeby i Krzny odpływy istotne wzrosły. W lutym istotne spadki odpływów jednostkowych dotyczyły zlewni Małej Noteci i Obry, a ich wzrosty zlewni Łeby, Krzny, Gołdapi i Ełku (tab. 2). W pozostałych miesiącach, jeśli pojawiały się istotne statystycznie trendy odpływu, to miały one charakter spadkowy (rys. 5). Najwięcej miesięcy z istotnym spadkiem odpływu wystąpiło w zlewni Małej Noteci (wszystkie miesiące; tab. 2), Omulwi (dziewięć miesięcy) oraz Welu i Piławy (osiem miesięcy).



Rys. 5. Sezonowy rozkład kierunku zmian średnich miesięcznych odpływów jednostkowych (1961–2021)  
Seasonal distribution of change direction of average monthly specific discharges, 1961–2021

Współczynniki kierunkowe trendu odpływów jednostkowych z poszczególnych miesięcy poddano analizie skupień metodą Warda (rys. 6). Umożliwiło to, po wykorzystaniu wykresu przebiegu aglomeracji (rys. 7), wyodrębnienie trzech skupień. Odcięcie skupień nastąpiło po 36 etapie (kroku) procesu wiązania (aglomeracji) ze względu na bardzo duży wzrost odległości wiązań (rys. 7).

Zlewnie należące do skupienia oznaczonego numerem 1 (rys. 6) obejmują grupę 15 obiektów i położone są w większości w północnej części Polski (rys. 8). Charakteryzują

się zazwyczaj stosunkowo dużymi odpływami jednostkowymi (rys. 1). Do skupienia oznaczonego numerem 3 należą cztery zlewnie: Neru, Małej Noteci, Okrzejki i Małej Panwi. Znajdują się one w obrębie nizin (rys. 8), gdzie odpływy jednostkowe są niewielkie (rys. 1). Zlewnia Orzyca nie została zakwalifikowana do żadnego z wyznaczonych skupień (rys. 6).

Z analizy uśrednionych zmian dla wszystkich badanych zlewni wynika, że największe ubytki zasobów wodnych mierzonych wielkością odpływu jednostkowego występu-



ją w obrębie nizinnej części Polski w kwietniu (rys. 9). Zlewnie należące do skupienia numer 1 cechują stosunkowo nieduże spadki odpływów jednostkowych w poszczególnych miesiącach roku (tab. 2; rys. 9). Jedynie w kwietniu spadki odpływów w tych zlewniach są większe niż w zlewniach należących do skupienia numer 2. W zlewniach zgrupowanych w skupieniu 1 w sty-

czniu, lutym i marcu obserwowane są wzrosty wielkości odpływów jednostkowych a największe ich spadki występują w kwietniu. Do grupy tej należą między innymi zlewnie Łeby, Gołdapi, Ełku i Krzny, w których nastąpiły istotne wzrosty odpływów jednostkowych w styczniu i/lub w lutym (tab. 2).

Tabela 2

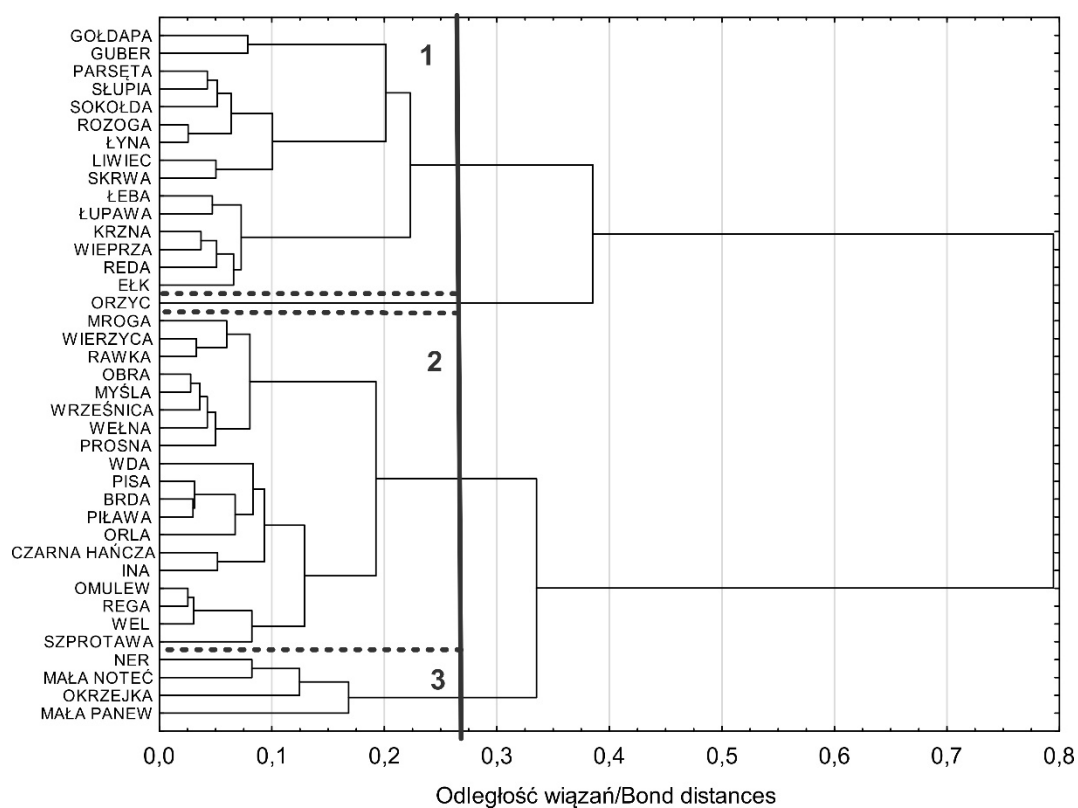
Współczynniki kierunkowe trendów średnich miesięcznych odpływów jednostkowych w badanych zlewniach (1961–2021)

Wyróżniono współczynniki istotne statystycznie na poziomie  $p \leq 0,05$ . Zlewnie uszeregowano jak w Tabeli 1 i podano ich przynależność do określonego skupienia (Sk) – por. Rysunek 6

Trend coefficients of average monthly specific discharge in studied catchments, 1961–2021  
Statistically significant coefficients were identified at the level of  $p \leq 0.05$ . The catchments are arranged as in Table 1 and their affiliation to a specific cluster is given (Cl) – as in Figure 6

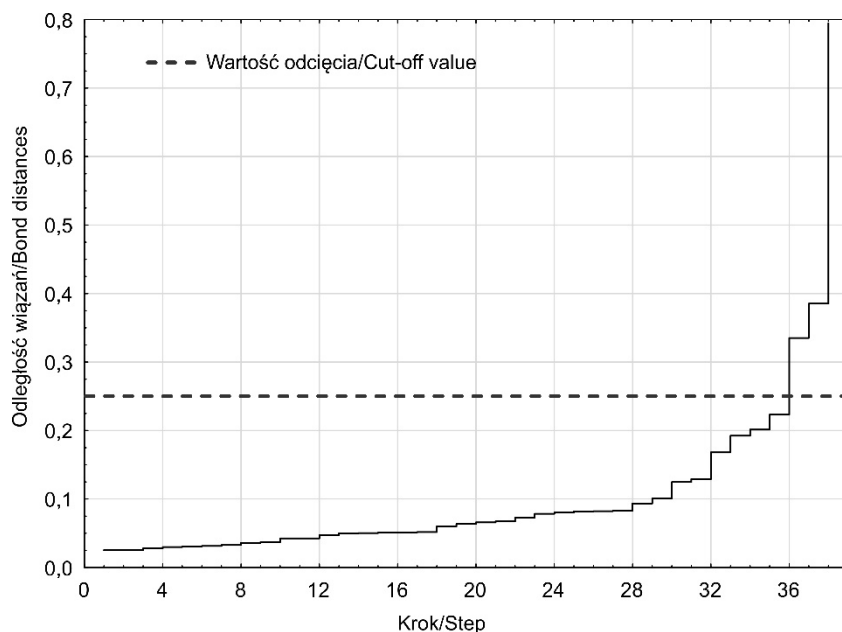
Rzeka/ River	Region/ Region	Sk/ Cl	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
			Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
Reda	Przymorze/ Seaside	1	-0,014	-0,001	0,038	0,036	0,009	-0,031	0,000	<b>-0,021</b>	-0,012	<b>-0,029</b>	<b>-0,034</b>	-0,011
Słupia		1	-0,024	-0,016	0,014	0,027	0,007	<b>-0,040</b>	<b>-0,028</b>	-0,009	-0,012	<b>-0,024</b>	-0,028	<b>-0,030</b>
Wieprza		1	-0,010	-0,006	0,036	0,046	0,020	-0,034	-0,021	-0,010	-0,014	-0,024	-0,009	-0,016
Łebsa		1	-0,005	0,012	<b>0,050</b>	<b>0,066</b>	0,024	-0,017	0,000	0,001	0,006	-0,012	-0,017	-0,007
Łupawa		1	-0,013	0,004	0,026	0,038	0,016	-0,007	-0,001	0,006	0,016	0,004	-0,004	-0,012
Paręta		1	-0,024	-0,028	0,018	0,026	-0,002	<b>-0,057</b>	<b>-0,047</b>	-0,024	-0,022	-0,026	-0,014	-0,010
Rega		2	-0,031	-0,042	-0,005	-0,001	-0,018	-0,046	<b>-0,045</b>	<b>-0,026</b>	-0,020	<b>-0,033</b>	<b>-0,028</b>	-0,022
Łyna	Pojezierza/Lake districts	1	-0,032	-0,023	0,038	0,044	0,007	<b>-0,075</b>	<b>-0,040</b>	-0,022	-0,003	-0,011	-0,012	-0,023
Gołdapi		1	-0,027	-0,002	0,065	<b>0,110</b>	0,025	<b>-0,141</b>	-0,028	-0,002	-0,002	-0,014	-0,004	-0,006
Czarna Hańcza		2	-0,031	-0,030	0,005	0,025	0,024	-0,018	-0,023	-0,010	-0,001	-0,001	0,004	0,006
Brda		2	<b>-0,026</b>	<b>-0,030</b>	-0,003	0,001	-0,006	-0,020	<b>-0,023</b>	<b>-0,032</b>	0,000	-0,004	<b>-0,022</b>	<b>-0,021</b>
Ełk		1	-0,001	0,008	0,027	<b>0,069</b>	0,047	-0,037	-0,026	-0,018	-0,016	-0,009	0,005	-0,002
Wda		2	<b>-0,053</b>	<b>-0,066</b>	-0,029	-0,023	-0,014	<b>-0,023</b>	<b>-0,023</b>	-0,016	0,004	-0,006	-0,010	<b>-0,027</b>
Wel		2	<b>-0,039</b>	<b>-0,032</b>	-0,011	-0,007	-0,011	<b>-0,046</b>	<b>-0,035</b>	<b>-0,018</b>	-0,016	<b>-0,024</b>	<b>-0,031</b>	<b>-0,033</b>
Ina		2	-0,004	-0,021	0,012	0,014	-0,005	-0,036	<b>-0,039</b>	-0,022	-0,007	-0,003	-0,005	0,002
Piława		2	<b>-0,024</b>	<b>-0,028</b>	-0,021	-0,003	-0,009	<b>-0,025</b>	<b>-0,033</b>	<b>-0,028</b>	<b>-0,018</b>	-0,011	<b>-0,016</b>	<b>-0,022</b>
Wierzyca		2	-0,026	-0,028	0,005	-0,011	-0,032	<b>-0,051</b>	<b>-0,028</b>	-0,016	-0,010	-0,012	-0,006	-0,010
Omulew		2	<b>-0,035</b>	<b>-0,038</b>	-0,010	-0,009	-0,008	<b>-0,058</b>	<b>-0,053</b>	<b>-0,037</b>	<b>-0,025</b>	<b>-0,031</b>	<b>-0,028</b>	<b>-0,030</b>
Guber		1	0,004	0,000	0,056	0,064	0,019	-0,094	<b>-0,036</b>	-0,023	-0,017	-0,009	-0,002	-0,005
Sokołda		1	<b>-0,038</b>	-0,013	0,021	0,028	-0,003	-0,054	-0,012	-0,012	-0,006	-0,013	0,005	-0,020
Rozoga		1	-0,016	-0,015	0,033	0,036	0,005	<b>-0,077</b>	-0,028	-0,021	0,002	-0,017	-0,011	-0,018
Orzyc		1	-0,023	-0,026	0,260	0,021	-0,003	<b>-0,101</b>	<b>-0,043</b>	-0,023	-0,016	-0,024	-0,017	-0,023
Skrwa		1	-0,015	-0,034	0,009	0,011	-0,024	<b>-0,085</b>	-0,028	-0,003	-0,017	-0,022	-0,003	-0,003
Myśla		2	-0,013	<b>-0,027</b>	-0,027	-0,027	-0,027	<b>-0,040</b>	<b>-0,037</b>	<b>-0,016</b>	-0,009	-0,011	-0,011	-0,011
Mała Panew	Niziny Lowlands	3	-0,023	<b>-0,058</b>	-0,040	-0,020	-0,023	-0,030	0,008	-0,056	<b>-0,094</b>	<b>-0,113</b>	-0,028	-0,018
Ner		3	-0,032	<b>-0,054</b>	-0,027	-0,049	-0,056	<b>-0,060</b>	-0,022	-0,023	-0,016	<b>-0,064</b>	-0,032	-0,026
Pisa		2	-0,017	-0,019	-0,003	-0,010	-0,005	-0,028	-0,024	<b>-0,032</b>	-0,013	-0,014	-0,005	-0,011
Okrzejka		3	-0,031	-0,045	0,017	-0,034	<b>-0,117</b>	<b>-0,078</b>	-0,027	-0,042	-0,002	-0,025	0,004	-0,051
Mroga		2	-0,010	-0,016	-0,001	-0,020	<b>-0,055</b>	<b>-0,036</b>	<b>-0,030</b>	-0,015	-0,027	<b>-0,039</b>	-0,050	-0,016
Liwiec		1	-0,003	-0,025	0,012	0,013	-0,040	<b>-0,065</b>	-0,006	-0,012	0,001	-0,011	0,004	-0,027
Rawka		2	<b>-0,020</b>	<b>-0,018</b>	0,002	-0,010	<b>-0,044</b>	<b>-0,037</b>	<b>-0,034</b>	-0,021	<b>-0,022</b>	<b>-0,029</b>	-0,016	-0,012
Orla		2	-0,004	-0,028	-0,016	-0,033	0,002	-0,029	-0,015	-0,002	-0,028	-0,015	-0,003	-0,012
Prosna		2	-0,019	<b>-0,037</b>	-0,019	-0,038	-0,049	<b>-0,038</b>	-0,012	-0,012	-0,011	-0,026	-0,009	-0,013
Krzna		1	-0,010	0,001	<b>0,044</b>	<b>0,049</b>	0,013	-0,043	-0,004	-0,010	-0,011	-0,002	0,009	-0,012
Szprotawa		2	-0,029	<b>-0,045</b>	0,008	-0,004	0,029	-0,012	<b>-0,047</b>	-0,023	-0,020	-0,036	<b>-0,025</b>	<b>-0,044</b>
Obra		2	-0,013	-0,021	-0,024	<b>-0,038</b>	<b>-0,040</b>	<b>-0,042</b>	<b>-0,040</b>	<b>-0,030</b>	<b>-0,018</b>	<b>-0,020</b>	-0,019	-0,014
Mała Noteć		3	<b>-0,045</b>	<b>-0,052</b>	<b>-0,044</b>	<b>-0,057</b>	<b>-0,075</b>	<b>-0,085</b>	<b>-0,064</b>	<b>-0,047</b>	<b>-0,056</b>	<b>-0,063</b>	<b>-0,059</b>	<b>-0,050</b>
Wełna		2	-0,022	<b>-0,032</b>	-0,028	-0,020	-0,029	<b>-0,061</b>	<b>-0,043</b>	<b>-0,023</b>	-0,020	-0,027	-0,020	-0,019
Wrześnica		2	-0,001	-0,016	-0,029	-0,032	-0,027	<b>-0,045</b>	<b>-0,027</b>	-0,009	-0,013	-0,022	-0,001	0,000





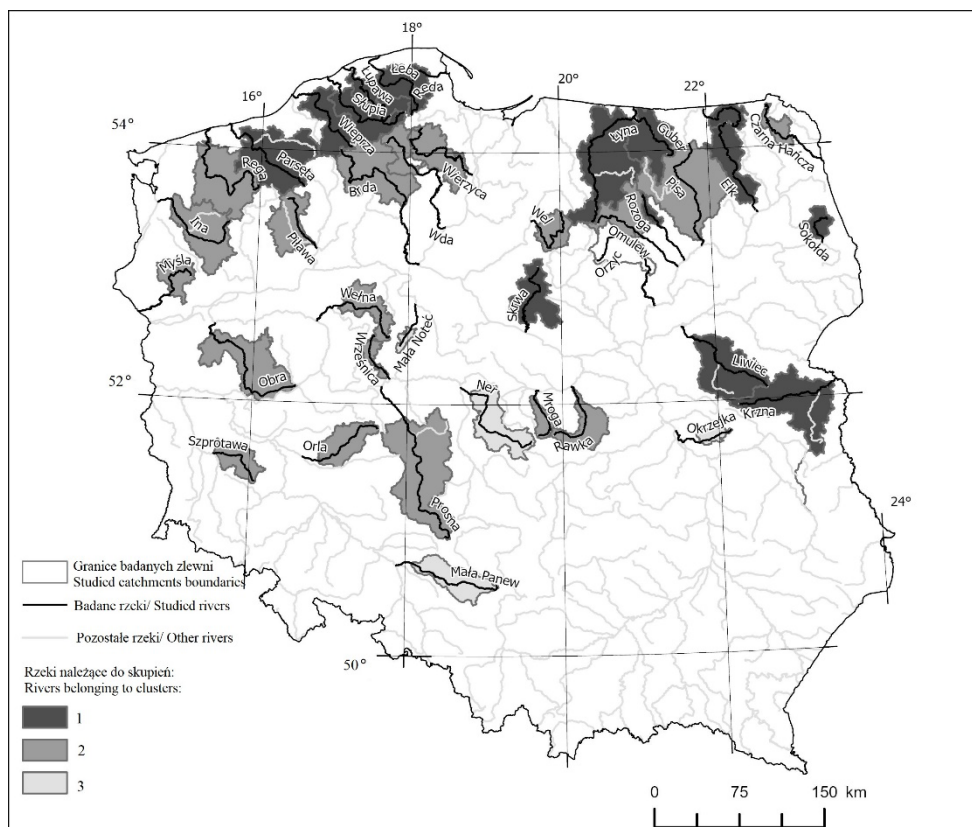
Rys. 6. Dendrogram podobieństwa współczynników kierunkowych trendów średnich miesięcznych odpływów jednostkowych, grupowany metodą Warda (odległości euklidesowe) (1961–2021)

Dendrogram of similarity of trend slope coefficients of average monthly specific discharge, clustered by Ward's method (Euclidean distances), 1961–2021



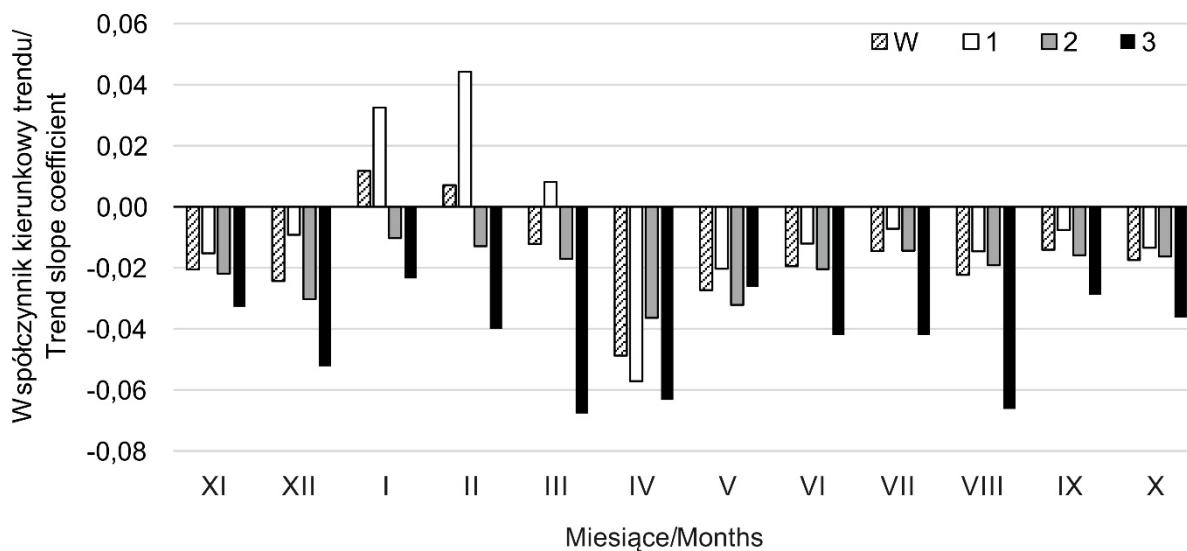
Rys. 7. Odległość wiązania w kolejnych etapach aglomeracji zlewni pod względem wartości współczynników kierunkowych trendów średnich miesięcznych odpływów jednostkowych (1961–2021)

Linking distance in successive agglomeration steps in terms of trend slope coefficients of average monthly specific discharges, 1961–2021



Rys. 8. Rozmieszczenie klas podobieństwa wieloletnich zmian miesięcznych odpływów jednostkowych w badanych zlewniach (1961–2021)  
1–3 – numer zidentyfikowanego skupienia (por. Rysunek 6)

Distribution of similarity classes of multiannual changes of monthly specific discharges in studied catchments, 1961–2021  
1–3 – number of identified cluster (as in Figure 6)



Rys. 9. Sezonowy rozkład uśrednionych współczynników kierunkowych trendów odpływów jednostkowych (1961–2021)  
W – wszystkie zlewnie, 1–3 – numer zidentyfikowanego skupienia (por. Rysunek 6)

Seasonal distribution of average trend slope coefficients of specific discharges (1961–2021)  
W – all catchments, 1–3 – number of identified cluster (as in Figure 6)

Zlewnie należące do najliczniejszego skupienia, oznaczonego numerem 2, cechują się umiarkowanymi zmianami odpływów (tab. 2; rys. 9). We wszystkich miesiącach roku zmiany te są podobnej wielkości, przy czym największe występują w kwietniu, a najmniejsze w styczniu i w lutym.

Zlewnie przyporządkowane do skupienia numer 3 cechują największe spadki odpływów jednostkowych. Szczególnie duże ich ubytki wystąpiły w marcu, kwietniu i sierpniu, a także w grudniu (rys. 9). W zlewniach zaliczonych do skupień oznaczonych numerami 2 i 3 jedynymi istotnymi statystycznie zmianami odpływów miesięcznych były ich spadki (tab. 2).

## Dyskusja

Podobne wyniki analiz zostały zaprezentowane w pracy Piniewskiego i in. (2018), gdzie zostały wykazane spadki średnich rocznych przepływów rzecznych w większości zlewni północnej Polski. Największe spadki przepływów dotyczyły wiosny. Istotne trendy malejące przepływów rzecznych odnotowano również w Wiśle w Tczewie w latach 1901–2020 (Wrzesiński i in. 2023).

Badania przeprowadzone przez Wrzesińskiego (2009) wykazały w Polsce w latach 1951–1970 trendy rosnące większości średnich przepływów miesięcznych, a w latach 1971–2000 – odwrotnie, malejące. W konsekwencji dla całej drugiej połowy XX wieku trendy miesięczne były zazwyczaj nieistotne statystycznie. Również w pracy Brzezińskiej i in. (2023) stwierdzono występowanie okresów o odmiennych kierunkach zmian odpływów rzecznych. W latach 1951–1988 w większości badanych zlewni obserwowano ich wzrosty, a w latach 1988–2020 – spadki. Istotnych zmian w zakresie odpływów rzecznych nie stwierdzono w badaniach przeprowadzonych dla największych rzek Europy (Pekarova i in. 2006). Badania zmian przepływów rzek w krajach bałtyckich (Litwy, Łotwy i Estonii) wykazały wzrosty przepływów zimą i niewielkie spadki wiosną w niektórych rzekach zachodniej części regionu (Kļaviņš i in. 2008; Kriauciuniene i in. 2012), co wynika

ze wzrostu nie tylko temperatury, jak w Polsce, ale również sum opadów.

Spadki zasobów wodnych w zlewniach nizinnych rzek centralnej Polski stwierdzono na podstawie badań niewielkiej rzeki Zagożdżonki położonej w południowej części Mazowsza (Banasik, Hejduk 2012; Krajewski i in. 2019). Spadki te nasiliły się znacznie po roku 1981 ze względu na przyspieszony wzrost temperatury powietrza. Z kolei w zlewni Warty nie zaobserwowano istotnego wpływu ocieplenia klimatu na wielkość zasobów wodnych wyznaczonych na podstawie przepływów rzecznych (Ilnicki i in. 2014), a spadek przepływów w zlewni górnej Noteci uzasadniono wpływem obniżania zwierciadła wód podziemnych w celu wydobycia węgla brunatnego w rejonie Konina. W zlewni Narwi (Malinowski, Skoczko 2018) zauważono jedynie mało wyraźne zmiany wartości parametrów hydrologicznych, mimo znacznych zmian klimatycznych. W rzekach Przymorza zaobserwowano niewielkie spadki odpływów rzecznych w niektórych miesiącach wiosennych i letnich (Świątek, Walczakiewicz 2022). Analizy całkowitej objętości odpływu z terenu Polski w XX wieku i w pierwszej dekadzie XXI wieku (Michalczyk 2017) wskazywały na tendencję rosnącą. Były to jednakże zmiany nieistotne statystycznie.

Spadki zasobów wodnych wiosną wynikają między innymi z największych wzrostów temperatury powietrza w Polsce w lutym i w marcu w drugiej połowie XX wieku (Degirmendzić i in. 2004). Analiza dłuższego okresu (lata 1901–2012) wykazała największe wzrosty temperatury powietrza w Polsce wiosną (Rutgersson i in. 2014; Wójcik, Miętus 2014). Na niedobory wody wiosną wpływ ma również coraz częstsze występowanie dodatnich temperatur zimą (Kundzewicz i in. 2022), co uniemożliwia trwałe utrzymywanie się pokrywy śnieżnej, a w konsekwencji determinuje zanikanie wiosennych roztopów. Badania dotyczące rzek zasilanych w obszarach alpejskich wykazały silny wpływ zmian dotyczących pokrywy śnieżnej na reżimy rzeczne i wielkości przepływów – mianowicie wzrost przepływów rzecznych zimą i wiosną oraz ich spadek latem i wczesną jesienią (Rot-

tler i in. 2020). W Polsce zauważono skracanie się czasu trwania sezonu śnieżnego (zarówno rzeczywistego, jak i potencjalnego), zwłaszcza na zachodzie i w centrum kraju (Wibig, Jędruszkiewicz 2023). W Polsce północno-zachodniej okres możliwości występowania pokrywy śnieżnej skraca się aż o 5–11 dni na dekadę (zimy 1966/67–2020/21). Stosunkowo duże zróżnicowanie przestrzenne zmian potencjalnego sezonu śnieżnego nie przekłada się na znaczące różnice między odpływami jednostkowymi w poszczególnych zlewniach, będących przedmiotem analizy w niniejszych pracy. Wydaje się, że przepływy we wszystkich badanych rzekach w mniejszym lub w większym stopniu są pod wpływem zmian warunków niwalnych. Praca Falarz i Bednorz (2021) wykazuje, że ujemne trendy parametrów pokrywy śnieżnej (na przykład liczba dni ze śniegiem lub maksymalna i średnia miąższość pokrywy śnieżnej) obserwowane są na terenie całej Polski, z wyjątkiem obszarów górskich, gdzie nadal występują zimą ujemne temperatury powietrza. Zmniejszona retencja niwalna osłabia naturalne możliwości przechowania wody z opadów zimowych na okres wiosny, czyli z okresu małego parowania z powierzchni terenu na czas, kiedy jej zapotrzebowanie na intensywną wegetację roślinną jest szczególnie duże.

Znaczący wpływ na wielkość i sezonowy przebieg zmienności przepływów rzecznych w Polsce ma Oscylacja Północnoatlantycka (NAO) (Wrzesiński 2005, 2011, 2019). W poszczególnych zimach warunkuje ona pogodę zarówno pod względem termicznym, jak i wilgotnościowym, a przez to modyfikuje reżim odpływu w rzekach i wpływa na wielkość przepływów, zwłaszcza w okresie zimowo-wiosennym. Zimą w większości polskich rzek większe odpływy występują podczas dodatniej fazy NAO, a wiosną i latem – podczas fazy ujemnej (Wrzesiński 2011). Fazy te, związane z intensywnością napływu powietrza z zachodu, w dużej mierze determinują formę opadów. Podczas ciepłych zim (faza dodatnia NAO) deszcz „na bieżąco” zasila cieki, zapobiegając niżówkom zimowym. Natomiast w czasie chłodniejszych (faza ujemna

NAO) występuje trwalsza pokrywa śnieżna, co sprzyja wezbraniom wiosennym i utrzymywaniu się podniesionych przepływów rzecznych w miesiącach wiosennych, a nierzadko nawet letnich. Na zmiany przepływów rzecznych w poszczególnych miesiącach ma więc w dużej mierze wpływ dominująca w danym roku cyrkulacja atmosfery. Na temperaturę powietrza zimą wpływa również cyrkulacja skandynawska SCAND związana z silnym wyżem z centrum nad Finlandią. Podczas negatywnej fazy SCAND (niższe ciśnienie nad Skandynawią) temperatury zimą częściej są dodatnie, zwłaszcza w północnej Polsce, co wpływa na ograniczenie możliwości tworzenia się pokrywy śnieżnej (Tomczyk i in. 2021; Tomczyk, Miś 2022).

Na zmiany przepływów rzecznych duży wpływ mają czynniki antropogeniczne. Na przykład wykazane w niniejszej pracy bardzo duże spadki odpływów jednostkowych w zlewni Małej Noteci we wszystkich miesiącach roku należy wiązać nie tylko z niekorzystną zmianą klimatu, ale przede wszystkim z nieprawidłowo prowadzonymi melioracjami, deforestacją, nadmiernym poborem wody na cele komunalne oraz odwodnieniem wielkopromiennym umożliwiającym eksploatację węgla brunatnego (Nowak i in. 2018).

Duże znaczenie dla ograniczenia ubytku zasobów wodnych ma wielkość retencji powierzchniowej. Na podstawie map publikowanych w bazie Geoportalu (Geoportal 2024) przedstawiających pokrycie terenu można stwierdzić, że najmniejsze spadki odpływów jednostkowych dotyczyły zlewni o urozmaiconej topografii terenu i znacznym stopniu pokrycia lasem oraz występowaniem naturalnych zbiorników wodnych i obszarów podmokłych. W tych zlewniach wpływ ocieplenia klimatu na spadek zasobów wodnych był więc najmniejszy. W zlewniach równinnych, pokrytych uprawami monokulturowymi, gdzie retencja wody jest mniejsza, ubytki zasobów wodnych były stosunkowo duże. Jest to tym bardziej niepokojące, że w ostatnich 60 latach (1961–2021) największe spadki zasobów wodnych wystąpiły na terenach, gdzie jej poważne niedobory do celów rolniczych obserwowane były już w latach 50. XX wieku (Ur-

bański 1956; Narkiewicz-Jodko 1959), a więc przed początkiem badanego w niniejszej pracy okresu.

## Podsumowanie i wnioski

1. W około połowie badanych zlewni wystąpiły istotne spadki zasobów wodnych mierzone średnim rocznym odpływem jednostkowym, przy czym największe zmiany dotyczyły centralnej Polski. Rzeki Przyorza wykazały najmniejsze zmiany.
2. Spadki średnich miesięcznych odpływów jednostkowych w przynajmniej jednym miesiącu roku zaobserwowano w 88% badanych zlewni.
3. Najwięcej istotnych statystycznie spadków odpływów jednostkowych zanotowano w kwietniu i maju. Dotyczyło to większości badanych zlewni. Wiąże się to prawdopodobnie z mniejszymi zasobami wodnymi gromadzonymi w pokrywie śnieżnej, które są przekazywane za pośrednictwem odpływu podziemnego do rzeki z opóźnieniem, czyli w drugiej połowie wiosny.
4. Najmniejsze spadki odpływów miesięcznych dotyczyły zlewni położonych w północnej części Polski, a największe wystąpiły na nizinach w centrum kraju.
5. W żadnej zlewni nie zaobserwowano istotnego statystycznie wzrostu średnich rocznych odpływów jednostkowych. Istotny wzrost średnich miesięcznych odpływów jednostkowych zaobserwowano jedynie w przypadku zlewni Łeby, Gołdapi, Ełku i Krzny w miesiącach zimowych (styczeń i/lub luty).
6. W dużej mierze spadki zasobów wodnych dotyczą zlewni o małych zasobach wodnych, podczas gdy zlewnie o największych w nizinnej części Polski odpływach jednostkowych nie tracą swoich zasobów.

## Podziękowania

Autorka składa serdeczne podziękowania dwóm anonimowym Recenzentom, którzy znacząco przyczynili się do podniesienia jakości niniejszej pracy, a także Szymonowi Walczakiewiczowi za pomoc w wykonaniu opracowań kartograficznych.

Dofinansowano ze środków Ministra Nauki w ramach Programu „Regionalna inicjatywa doskonałości” na lata 2024–2027.

## Literatura

- Banasik K., Hejduk L. 2012. Long-term changes in runoff from a small agricultural catchment. *Soil and Water Resources* 7(2): 64-72. DOI:10.17221/40/2011-SWR.
- Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski*. 2024. Online: <https://klimat.imgw.pl/pl/biuletyn-monitoring> (data ostatniego dostępu: 30.01.2024).
- Brzezińska W., Wrzeziński D., Świątek S. 2023. Wpływ ocieplenia klimatu na odpływ rzek w Polsce w latach 1951–2020. *Geoprzestrzeń* 7: 59-74.
- Caretta M., Mukherji A. (red.). 2022. Water. W: H. Pörtner, D. Roberts, M. Tignor, P. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (red.) *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Working group II to contribution to the sixth assessment report of the International Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, New York: 551-712. DOI:10.1017/9781009325844
- Degirmendzić J., Kożuchowski K., Żmudzka E. 2004. Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 24: 291-310. DOI: 10.1002/joc.1010

- Eurostat. 2022. Online: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics) (data ostatniego dostępu: 26.01.2024).
- Falarz M., Bednorz E. 2021. Snow cover change. W: M. Falarz (red.) *Climate change in Poland. Past, present, future. Springer Climate*. Springer, Cham: 349-373.  
DOI: 10.1007/978-3-030-70328\_14
- Geoportal. 2024. Online: [https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp\\_2.html?gpmmap=gp0](https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2.html?gpmmap=gp0) (data ostatniego dostępu: 30.01.2024).
- Ilnicki P., Farat R., Górecki K., Lewandowski P. 2014. Impact of climatic change on river discharge in the driest region of Poland. *Hydrological Science Journal – Journal des Sciences Hydrologiques* 59 (6): 1117-1134.  
DOI: 10.1080/02626667.2013.831979.
- Kļaviņš M., Rodinov V., Timukhin A., Kokorīte I. 2008. Patterns of river discharges in Latvia and the Baltic region. *Baltica* 21 (1-2): 41-49.
- Kożuchowski K. 2013. Ocena higroklimatycznych warunków wegetacji w Polsce. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 14: 103-111.
- Krajewski A., Sikorska-Senoner A., Ranzi R., Banasik K. 2019. Long-term changes of hydrological variables in a small lowland watershed in Central Poland. *Water* 11(3): 564.  
DOI: 10.3390/w11030564.
- Kriauciuniene J., Meilutyde-Barauskiene D., Reihan A., Koltsova T., Lizuma L., Sarauskiene D. 2012. Variability in temperature, precipitation and river discharge in the Baltic States. *Boreal Environment Research* 17: 150-162.
- Kundzewicz Z., Zaleski J., Nachlik E., Januchta-Szostak A. (red.). 2022. Gospodarowanie wodą – wyzwania dla Polski. *Nauka* 1: 79-102.  
DOI: 10.24425/nauka.2021.136305.
- Łupikasza E., Małarzewski Ł. 2021. Precipitation change. W: M. Falarz (red.) *Climate change in Poland. Past, present, future*. Springer, Cham: 349-373.  
DOI: 10.1007/978-3-030-70328\_13.
- Malinowska M. 2015. Symptoms of climate change in Poland. W: Z. Kordel, I. Josan, T. Wiskulski (red.) *Geography for society*. Editura Universităţii din Oradea, Oradea: 94-112.
- Malinowski Ł., Skoczko I. 2018. Impacts of climate change on hydrological regime and water resources management of the Narev river in Poland. *Journal of Ecological Engineering* 19(4): 167-175.  
DOI: 10.12911/22998993/91672.
- Michalczyk Z. 2017. Odpyływ rzeczny w Polsce. W: P. Jokiel, W. Marszałewski, J. Pociask-Karteczka J. (red.) *Hydrologia Polski*. PWN, Warszawa: 153-194.
- Milly P., Dunne K., Vecchia A. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in changing climate. *Nature* 438(17): 347-350.  
DOI: 10.1038/nature04312.
- Narkiewicz-Jodko J. 1959. O przyczynach stepowienia Wielkopolski i roli zadrzewień śródpolnych w krajobrazie rolniczym. *Ekologia Polska* (4): 307-312.
- Nowak B., Nadolna A., Stanek P. 2018. Evaluation of the potential for use of lakes in restoring water resources and flood protection, with the example of the Noteć Zachodnia River catchment (Gniezno Lakeland, Poland). *Meteorology, Hydrology and Water Management* 6(2): 14.  
DOI: 10.26491/mhwm/90604.
- Pekarova P., Miklanek P., Pekar J. 2006. Long-term trends and runoff fluctuations of European rivers. *Climate Variability and Change Hydrological Impacts*, Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference, Havana. IAHS Publishing 308: 520-526.
- Piniewski M., Marcinkowski P., Kundzewicz Z. 2018. Trend detection in river flow indices in Poland. *Acta Geophysica* 66: 347-360.  
DOI: 10.1007/s11600-018-0116-3.
- Rottler E., Francke T., Bürger G., Bronstert A. 2020. *Hydrology and Earth System Sciences* 24: 1721-1740.  
DOI: 10.5194/hess-24-1721-2020.
- Rutgersson A., Jaagus J., Schenk F., Stendel M. 2014. Observed changes and variability of atmospheric parameters in the Baltic sea region during the last 200 years. *Climate Research* 61: 177-190.  
DOI: 10.3354/cr01244.
- Seager R., Vecchi G. 2010. Greenhouse warming and 21st century hydroclimate of south-western North America. *PNAS* 107 (50): 21277-21282.  
DOI: 10.1073/pnas.0910856107.
- Świątek M., Walczakiewicz Sz. 2022. Changes in specific runoff in river catchments of Western Pomerania versus climate change. *Geographia Polonica* 95(1): 25-52.  
DOI: 10.7163/Gpol.0226.

- Tomczyk A., Bednorz E., Szyga-Pluta K. 2021. Changes in air temperature and snow cover in winter in Poland. *Atmosphere* 12: 68. DOI: 10.3390/atmos12010068.
- Tomczyk A., Miś F. 2022. Zimowe ekstrema termiczne w Polsce i ich cyrkulacyjne uwarunkowania. *Badania Fizjograficzne, seria A – Geografia Fizyczna* 73: 193-205. DOI: 10.14746/bfg.2022.13.11.
- Urbański J. 1956. Fauna jako wskaźnik stepowienia Wielkopolski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 7: 66-78.
- Ustrnul Z., Wypych A., Czekierda D. 2021. Air temperature change. W: M. Falarz (red.) *Climate change in Poland. Past, present, future*. Springer, Cham: 349-373. DOI: 10.1007/978-3-030-70328\_11.
- Wibig J. 2009. The variability of daily precipitation totals in Poland (1951–2000). *Geographia Polonica* 82 (1): 21-32.
- Wibig J., Jędruszkiewicz J. 2023. Recent changes in the snow cover characteristics in Poland. *International Journal of Climatology* 43: 6925-6938. DOI: 10.1002/joc.8178.
- Wody Polskie i ZE PAK: Razem przeciwko suszy*. 2021. Online: <https://zielona.interia.pl/wiadomosci/polska/news-wody-polskie-i-ze-pak-razem-przeciwko-suszy,nId,5045733> (data ostatniego dostępu: 30.01.2024).
- Wójcik R., Miętus M. 2014. Niektóre cechy wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce (1951–2010). *Przegląd Geograficzny* 86(3): 339-364.
- Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo*. 2012. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Wrześciński D. 2005. Changes of the hydrological regime of rivers of northern and central Europe in various periods of the Northern Atlantic Oscillation. *Quaestiones Geographicae* 24.
- Wrześciński D. 2009. Tendencje zmian przepływu rzek Polski w drugiej połowie XX wieku. *Badania Fizyczne na Polską Zachodnią, seria A – Geografia Fizyczna* 60: 147-162. DOI: 10.2478/v10116-009-0025-x.
- Wrześciński D. 2011. Regional differences in the influence of the North Atlantic Oscillation on seasonal river runoff in Poland. *Quaestiones Geographicae* 30(3): 127-136. DOI: 10.2478/v10117-011-0032-y.
- Wrześciński D. 2019. Badania and wpływem Oscylacji Północnoatlantyckiej na reżim hydrologiczny rzek i jezior w Polsce. W: A. Styszyńska, M. Błaś, K. Migąła (red.) *NAO – istota, przyczyny i konsekwencje*. IGI RR Uniwersytetu Wrocławskiego i Stowarzyszenie Klimatologów Polskich, Wrocław: 47-62.
- Wrześciński D., Sobkowiak L. 2018. Detection of changes in flow regime of rivers in Poland. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 66(1): 55-64. DOI: 10.1515/JOHH-2017-0045.
- Wrześciński D., Sobkowiak L., Mares I., Dobrica V., Mares C. 2023. Variability of River Runoff in Poland and Its Connection to Solar Variability. *Atmosphere* 14: 1184. DOI: 10.3390/atmos14071184



## Summary

The aim of the study was to verify the existence of statistically significant trends in the annual and monthly specific discharges in selected catchments in lowland Poland, both on an annual and monthly basis. The research indicates in which catchments and in what months changes in the specific discharges occurred and attempts to sort out these changes using cluster analysis. Thirty-nine catchments were selected for analysis, all located entirely in Poland, in lowland areas – on coasts, lake districts and lowlands. The paper characterises changes occurring in water resources using specific discharge. For this purpose, average monthly values of river runoff from the hydrological years 1961–2021 published by the Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute were used. Changes in specific discharge were determined using trend analysis. Their statistical significance was verified using the Fisher–Snedecor test. The trend slope coefficients of mean monthly specific discharges were agglomerated with the help of the Ward method using Euclidean distances. These clusters are presented on a map, thus showing areas with different changes in runoff. The average values of trend coefficients in individual months were also calculated for each cluster.

Approximately half of the studied catchments experienced significant declines in average annual specific discharges, with the largest changes occurring in central Poland. The catchments of rivers flowing directly into the sea showed the least changes. The highest negative values of the trend slope coefficients of the average annual specific discharge were characteristic for the catchments of the Mała Noteć and Mała Panew, Ner and Okrzejka located in the Central Polish Lowlands. The best fit of the trend to empirical values was found for the catchments of the Mała Noteć, Rawka, Omulew and Wel. Decreases in specific discharges in at least one month of the year were observed in almost all catchments, except

the Łupawa, Wieprza, Czarna Hańcza and Orla catchments. Such decreases were most numerous for April and May in most of the catchments. There was no annual increase in water resources in any catchment area. Increases in average monthly specific discharge were recorded only in the Łeba, Gołdapa, Ełk and Krzna catchments in the winter months (January and/or February). The declines in water resources largely concern catchments with already small resources, while catchments with the highest individual runoff in the lowland part of Poland did not lose resources. The smallest changes in monthly runoff occurred in catchments in the north of Poland, and the largest changes occurred in the lowlands in the middle of the country.

The loss of water resources in spring results from smaller volumes of water accumulated in the snow cover. It is transferred via groundwater runoff to the river with a time delay, i.e. in the second half of spring. The thickness and durability of the snow cover, and therefore the runoff in winter and spring, is influenced by climate warming and atmospheric circulation (mainly NAO and SCAND) in a given winter. Reduced nival retention weakens the natural possibilities of accumulate water resources from winter rainfall, i.e. from the period of low water evaporation from the surface, for the spring period, when its demand due to intensive plant vegetation is particularly high. Changes in river flows are largely influenced by anthropogenic factors. For example, large decreases in the volume of individual runoff in the Mała Noteć catchment should be associated not only with unfavourable climate change, but primarily with improperly conducted drainage, deforestation, excessive water abstraction for municipal purposes and large-scale drainage for purposes of lignite mining (Nowak *et al.* 2018). The size of the loss of water resources was largely related to the retention capacity of the catchment area. In areas with high surface retention, resulting from the diversity of the terrain and large lake cover and forest cover, losses are smaller.