

IDENTYFIKACJA CECH REŻIMU ODPŁYWU RZEK W POLSCE NA RÓŻNYCH POZIOMACH GRUPOWANIA

DARIUSZ WRZESIŃSKI

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

Abstract: The paper presents the characteristics of the river regime types in Poland which were obtained by applying the unsupervised approach to the regime based on the results of clustering rivers with respect to the values of the 12 monthly flow coefficients in the average annual cycle. In the paper were used daily flow values from the period 1971–2010 for 516 gauges located on 280 Polish rivers. On three clustering levels, 5, 9 and 12 varieties of river runoff regimes were identified and detailed. The paper also presents the spatial distribution of rivers that represent these variants.

Keywords: river runoff, hydrological regime, hierarchical clustering, typology, flow coefficient (Pardé), unsupervised approach

WSTĘP

Stosunkowo duże zróżnicowanie warunków środowiskowych Polski, zarówno klimatycznych, jak i hydrologicznych, sprawia, że na rzekach obserwuje się różne formy zasilania i w konsekwencji odmienną sezonowość odpływu rzeczno-geograficznego, które określa reżim odpływu. Reżim rzeczny można zdefiniować jako stan i reakcje systemu rzeczno-geograficznego w relacji do systemu klimatycznego i cech fizyczno-geograficznych dorzecza (Gutry-Korycka 2001). Reżim hydrologiczny to prawidłowości zmienności wszelkich zjawisk zachodzących w rzece w normalnym cyklu rocznym, zależne od właściwości środowiska przyrodniczego – głównie klimatu i budowy zlewni. Analiza czasowego zróżnicowania zjawisk hydrologicznych w cyklu rocznym dotyczy najbardziej charakterystycznych i wyróżniających się okresów cyklu hydrologicznego – wezbrań i niżówek (Dębski 1961; Mikulski 1963) lub obejmuje całoroczny cykl zmienności zjawisk przy umownym podziale roku na pentady, dekady, miesiące, pory roku lub сезоны hydrologiczne. Klasyczne typologie reżimów rzecznych Parde'go (1957), Grimma (1968), Lwowicza (1979), Dynowskiej (1971, 1997) reprezentują nadzorowane podejście w określaniu prawidłowości przebiegu hydrologicznych zjawisk i procesów (reżimu hydrologicznego) w przeciętnym cyklu rocznym. Autorzy *a priori* przyjmują i definiują wskaźniki decydujące o typie reżimu, a następnie,

ustalając zgodność bądź jej brak z wieloletnimi średnimi miesięcznymi czy sezonowymi przepływami (odpływami), przypisują danej rzece odpowiedni typ reżimu. Szczegółową charakterystykę reżimu odpływu rzek w Polsce zawierają prace Wrzesińskiego (2013, 2017a).

W podejściu nienadzorowanym, które zazwyczaj opiera się na grupowaniu wybranych do analizy zmiennych opisujących cechy odpływu rzecznego, nie ma z góry ustalonych wskaźników, a typ reżimu określa się na podstawie struktury danych tak, aby obiekty w obrębie pojedynczego typu były do siebie możliwie podobne. Takie podejście w regionalizacji hydrologicznej Szwecji zastosował Gottschalk (1985), w klasyfikacji rzek świata wykorzystali je Haines i in. (1988), dla rzek w północnej i zachodniej Europy Krasovskaia i in. (1994), a w charakterystyce reżimu rzek w dorzeczu Odry i Przymorza zaproponowała Rotnicka (1988). W ostatnim przypadku autorka definiuje reżim jako rodzaj i strukturę czasową przepływów rzecznych w normalnym cyklu hydrologicznym. Elementami tej struktury są tzw. okresy hydrologiczne, które są narzędziem badania reżimu i podstawą jego charakterystyki. Na podstawie liczby, typów i sekwencji okresów hydrologicznych Rotnicka wyróżniła sześć głównych typów reżimu badanych rzek: pięciookresowy, kontrastowy z głęboką niżówką letnio-jesienną oraz wysokim wezbraniem wiosennym (w dwóch odmianach, np. Odra – Miedonia, Warta – Poznań), czterookresowy z przeciętną niżówką letnio-jesienną oraz wczesnowiosennym wezbraniem wysokim (w dwóch odmianach, np. Odra – Gozdowice, Ner – Dąbie), trójokresowy nizinny z przeciętną niżówką letnio-jesienną oraz niskim późnozimowym lub wczesnowiosennym wezbraniem (np. Gwda – Piła), trójokresowy górski i podgórski z płytką letnio-jesienną niżówką oraz wysokim wezbraniem wiosennym (np. Nysa Kłodzka – Bystrzyca), dwuokresowy z płytką niżówką letnią i niskim wezbraniem zimowo-wiosennym (np. Parsęta – Bardy), jednookresowy (np. Kłodnica – Łany Małe).

Wrzesiński (2017b) porównał typologie reżimu rzek w Polsce uzyskane w obu podejściach, z jednej strony – zgodnie z kryteriami Dynowskiej (1997), a z drugiej strony opierając się na wynikach grupowania profili ze względu na wartości miesięcznych współczynników przepływu. Ustalając odpowiedni poziom grupowania zmiennych, którymi były miesięczne współczynniki przepływu, stosując metodę grupowania hierarchicznego Warda, uzyskał podział rzek na pięć grup, analogicznie jak w typologii Dynowskiej (1997). Ze względu na różne kryteria wyróżnione w obu podejściach typy reżimu reprezentują nieco inne zbiory rzek, przez co ich przestrzenny rozkład jest także odmienny. Zaproponowany przez Parde'go miesięczny współczynnik przepływu (*Parde coefficient*) jest dobrą i popularną miarą opisującą cechy reżimu odpływu w cyklu rocznym, szeroko stosowaną zarówno w podejściach nadzorowanych, jak i nienadzorowanych. W podejściu nienadzorowanym, uznawanym za bardziej obiektywne, na wynik wpływa tzw. reguła stopu i przyjęcie określonego

poziomu grupowania, co decyduje o stopniu zgodności cech analitycznych w zidentyfikowanych grupach.

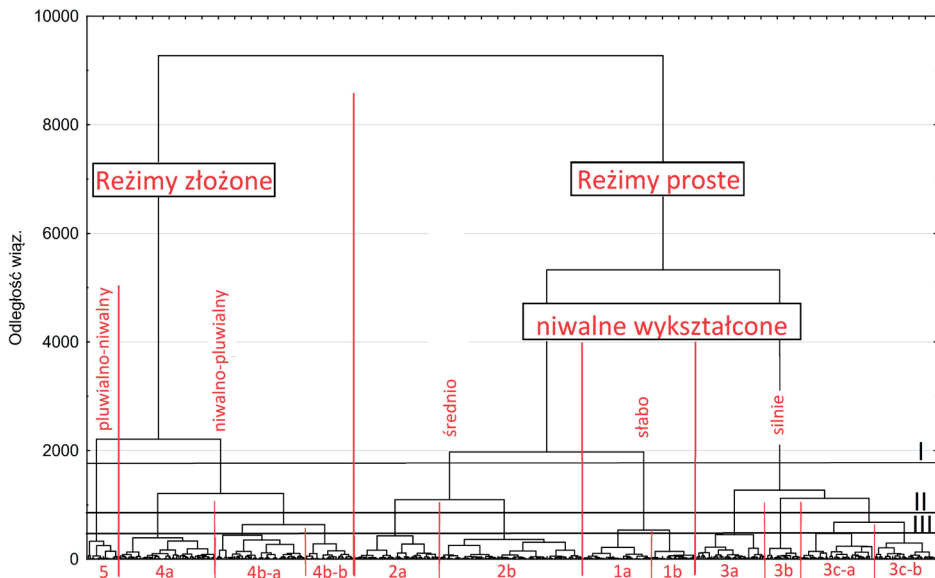
Celem pracy było ustalenie znaczenie poziomu grupowania w typologii reżimu odpływu rzek w Polsce. W pracy dokonano identyfikacji cech reżimu odpływu na różnych poziomach grupowania cech analitycznych, którymi były wartości miesięcznych współczynników przepływu. Określono przestrzenne zróżnicowanie rzek reprezentujących zidentyfikowane na różnych poziomach grupowania główne typy, podtypy i odmiany reżimu odpływu. Wykorzystano dzienne wartości przepływów z lat 1971–2010 z 516 posterunków położonych na 280 rzekach Polski, pochodzące ze zbiorów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej-PIB.

METODY

W badaniach zastosowano podejście nienadzorowane typologii reżimu, przeprowadzając klasyfikacje badanych rzek (profilu rzecznych) z punktu widzenia wartości 12-miesięcznych współczynników przepływu (W). W procedurze delimitacji wykorzystano metodę grupowania hierarchicznego Warda. Rezultaty grupowania przedstawiono graficznie w postaci dendrogramu, który odzwierciedla strukturę podobieństwa badanego zbioru obiektów i może posłużyć do wydzielenia klas typologicznych. Na różnych poziomach grupowania wyodrębnia się rozmaitą liczbę grup jednostek podobnych. Im niższy jest poziom grupowania, tym większe podobieństwo jednostek wewnątrz grupy. Wraz ze wzrostem odległości wiązania maleje stopień powiązania między elementami wewnątrz grupy (Jokiel 2015). Ustalenie optymalnej liczby klas jest procedurą ważną z punktu widzenia wyboru najlepszego wariantu klasyfikacji i jednocześnie trudną ze względu na brak obiektywnej metody. W pracy liczbę klas ustalono na podstawie układu, czyli geometrii dendrogramu i krzywej odległości wiązania. Wyznaczono, opierając się na analizie dendrogramu, trzy poziomy grupowania, w których wyraźnie tworzą się wiązki grup profili zlokalizowanych na badanych rzekach. Wartości poziomu grupowania skupień to: 1800, 900 i 450. W ten sposób otrzymano podział analizowanych rzek (profilu) na odpowiednio: 5, 9 i 12 grup typologicznych (ryc. 1). Ponieważ pierwszy podział z pięcioma grupami wyraźnie nawiązuje do klasycznej typologii według założeń Dynowskiej (1997), nazwy głównych typów reżimu przyjęto za propozycją autorki.

WYNIKI

W pierwszym wariantcie grupowania (poziom 1800) wyróżniono pięć głównych typów reżimu rzek w Polsce, których szczegółową charakterystykę



Ryc. 1. Dendrogram grupowania profili ze względu na wartości 12-miesięcznych współczynników przepływu (I–III – analizowane trzy poziomy grupowania)

Fig. 1. Dendrogram of gauges clusters with respect to the values of 12 monthly flow coefficients (I–III – analyzed three levels of clustering)

przedstawiono w pracy Wrzesińskiego (2017b). Rozkład przestrzenny i cechy odpływu rzek reprezentujących te typy reżimu, w ocenie autora, są zbliżone do tych wyróżnionych zgodnie z kryteriami Dynowskiej (1997).

Typ 1 – reżim niwalny słabo wykształcony zidentyfikowano w przypadku 69 profili (13,4%). Położone są one głównie na rzekach przymorskich od Radwi, dopływu Parsęty na zachodzie, po Redę na wschodzie oraz rzekach Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (górną Wartą po Bobry, rzeki w zlewni Przemszy z wyjątkiem Czarnej Przemszy z Mitręgą, Kłodnicą z Bytomką, uchodzącą do Wisły Gostynia z Mleczną oraz Białą Nidą) – rycina 4. Ten typ reżimu reprezentują też pojedyncze rzeki pojezierne (Brda, Wda, górna Łyna) i rzeki Lubelszczyzny (Wieprz po Zwierzyniec, Bystrzyca po Sobianowice, Łada dopływ Tanwi oraz Wyżnica dopływ Wisły). Do tego typu reżimu zaliczono także niektóre dopływy górnej Odry – Psinę, Rudą z Suminą, Stradunię i Oławę oraz dopływy Olzy – Szotkówkę i Pietrówkę. Rzeki te wyróżniają się najbardziej wyrównanymi przepływami i najmniejszą zmiennością przepływów. W przeciętnym cyklu rocznym nieznacznie wyższe wartości współczynników przepływu obserwuje się od grudnia do kwietnia z maksimum w marcu ($W = 122\%$). W pozostałych miesiącach na większości rzek przepływy są niższe niż przeciętnie, z minimum obserwowanym w sierpniu (86%) – rycina 2. W drugim wariantcie grupowania ten typu reżimu reprezentują te same rzeki, a w trzecim wariantcie (poziom grupowania 450) zbiór

rzek o tym typie podzielono na dwa podtypy (1a i 1b). Wartości współczynników przepływu w obu podtypach są podobnie niskie, wyróżnione podtypy różnią się jednak znacznie ich przebiegiem w przeciętnym cyklu rocznym i położeniem rzek.

Podtyp 1a, wśród rzek wymienionych, reprezentują jedynie rzeki przy-morskie, pojezierne, Lubelszczyzny i górna Warta. W przeciętnym cyklu rocznym wyższe niż przeciętnie przepływy obserwuje się od listopada do kwietnia, z maksimum w marcu, a w drugiej części roku hydrologicznego przepływy są niższe niż przeciętnie, z minimum w sierpniu.

Podtyp 1b występuje na pozostałych rzekach reprezentujących typ 1. Głównie są to rzeki regionu śląskiego, ale także dopływy w górnej części dorzecza Odry. Dzięki tym ostatnim, w porównaniu z podtypem 1a, rzeki w podtypie 1b mają nieco odmienny przebieg miesięcznych współczynników przepływu. Wyższe od przeciętnych przepływy obserwuje się od stycznia do kwietnia, z maksimum w marcu. Od maja do lipca przepływy na tych rzekach są zbliżone do przeciętnych, z lekkim wzrostem w lipcu. W pozostałych miesiącach przepływy są nieznacznie niższe od wartości przeciętnych, z minimum w październiku.

Typ 2 – reżim niwalny średnio wykształcony reprezentuje 139 profili (26,9%). Rzeki o tym reżimie występują w wielu regionach kraju. Na północy płyną w zachodniej części Przymorza (Rega, Parsęta) i na obszarach pojeziernych (Drawa, Gwda, Wierzyca, Radunia, Wel z Drwęcą, górna Pasłęka, Omulew i Pisa z Krutynią). Typ ten reprezentuje także Warta w środkowym i dolnym biegu, Pilica, rzeki spływające z Wyżyny Kieleckiej (Nida, Czarna, Kamienna) oraz wiele rzek sudeckich i Przedgórze Sudeckiego (Nysa Łużycka, Ślęza, Strzegomka, Kaczawa, Kwisa, górny Bóbr oraz górna Nysa Kłodzka ze Ścinawką). W przeciętnym cyklu rocznym, od grudnia do kwietnia, rzeki te charakteryzują się przepływami wyższymi od średnich. Maksimum przepływów jest osiąganę w marcu, kiedy współczynnik przepływu wynosi 151%. Okresy niżówkowe są notowane najczęściej od czerwca do października z minimum we wrześniu ($W = 73\%$). W pojedynczych przypadkach obserwuje się wzrost odpływu w miesiącach letnich – lipcu i sierpniu, a współczynnik przepływu osiąga nawet 125%. Wskazuje to na włączenie do typu niwalnego średnio wykształconego niektórych rzek o reżimie złożonym niwalno-plitwialnym według klasycznej wersji Dynowskiej. Tak jest w przypadku kilku rzek sudeckich i Pogórza Sudeckiego, w drugim wariacie grupowania, o poziomie grupowania 900, w typie 2 wyróżniono dwa podtypy (2a i 2b).

Podtyp 2a – reprezentują rzeki w południowej części kraju – na Pogórzu Sudeckim, Wyżynie Kieleckiej, Wyżynie Śląskiej (górna Brynica i Czarna Przemsza), a na wschodzie – dopływy Sanu (Szkło, Lubaczówka i Tanew). Zaznacza się na nich wzrost odpływu w miesiącach letnich. W przypadku rzek sudeckich i Pogórza Sudeckiego współczynniki przepływu są wówczas wyższe nawet od 100%. W rocznym przebiegu współczynników przepływu obserwuje się większe

zróznicowanie, od 70% we wrześniu do maksimum w marcu osiągającym nawet 170%.

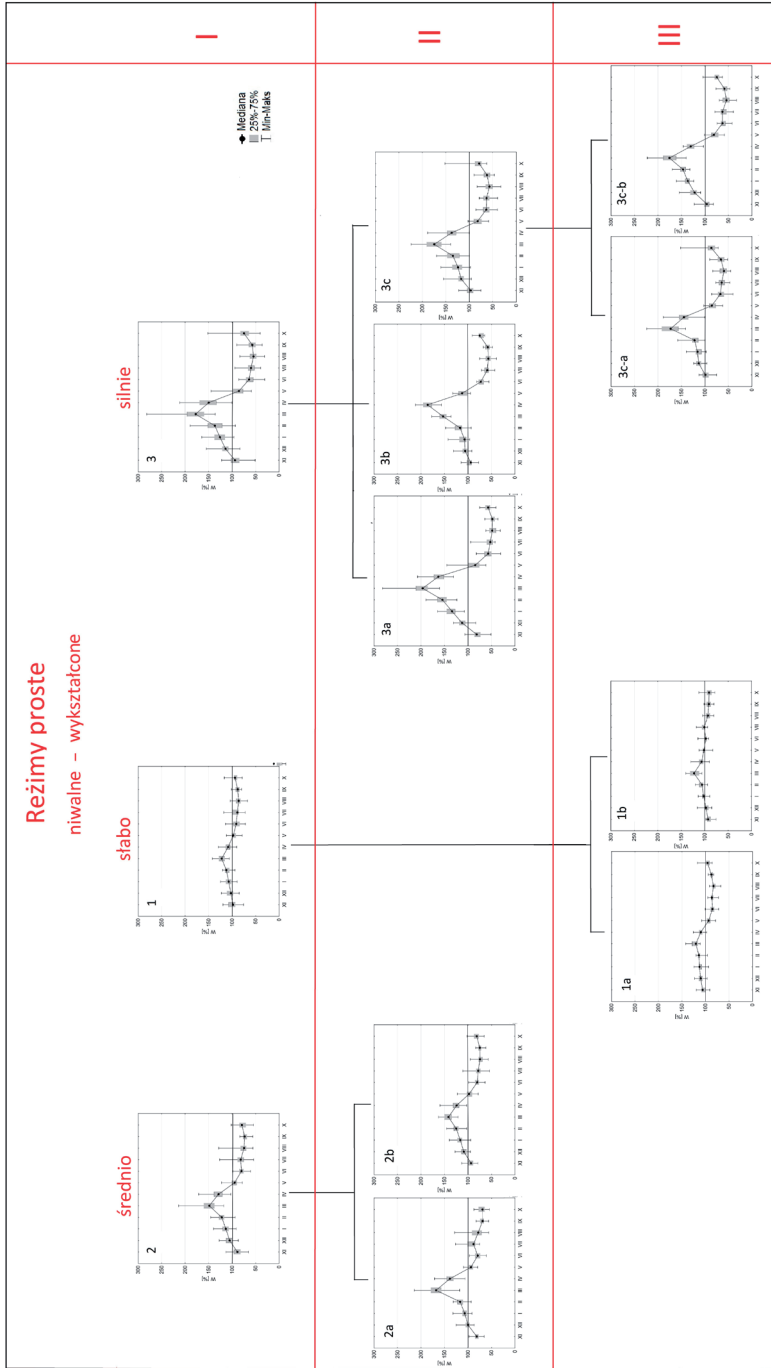
Podtyp 2b – występuje głównie na rzekach w północnej i środkowej części kraju. Na południu kraju ten typ reżimu reprezentują pojedyncze rzeki (Kwisa, Mała Panew, Liswarta i Wieprz w środkowym biegu). W porównaniu z podtypem 2a przebieg miesięcznych współczynników przepływu jest bardziej wyrównany, jednak okresy wysokich i niskich przepływów przypadają na podobne terminy, a maksimum występujące również w marcu jest wyraźnie niższe ($W = 140\%$).

Typ 3 – reżim niwalny silnie wykształcony zidentyfikowano w przypadku 146 profili (28,3%). Rzeki o tym typie reżimu są położone w nizinnej części kraju, od Pojezierza Myśliborskiego (Myśla) i Pobrzeża Szczecińskiego (rzeki w zlewni Iny) na zachodzie, poprzez Pojezierze Wielkopolskie, Nizinę Południowowielkopolską (w zlewni Baryczy i Proсны) i Nizinę Środkowomazowiecką (rzeki w zlewni Bzury), po większość rzek w północno-wschodniej części kraju (rzeki Pojezierza Mazurskiego, rzeki w zlewni Narwi i Bugu) i na wschodzie (Świder i niektóre rzeki w zlewni Wieprza). Rzeki te wyróżniają się największymi zmianami odpływu w cyklu rocznym – od wysokiego wezbrania roztopowego wiosną po głęboką niżówkę letnio-jesienną. W przeciętnym cyklu rocznym wyższe przepływy obserwuje się od grudnia do kwietnia z maksimum w marcu ($W = 180\%$) i niższym w kwietniu ($W = 150\%$). Niższe od przeciętnych przepływy występują od maja do listopada, z minimum najczęściej w sierpniu ($W = 55\%$). W drugim wariantcie grupowania, o poziomie grupowania 900, w typie 3 wyróżniono trzy podtypy (3a, 3b i 3c) – rycina 2.

Podtyp 3a – reprezentuje na północnym zachodzie Myśla i rzeki w zlewni Iny, w części centralnej większość rzek Pojezierza Wielkopolsko-Kujawskiego – głównie dopływy Warty w jej środkowym biegu, górna Noteć i Tążyna, dopływy Wisły – Osa z Lutryną, Skrwa z Sierpienią, a na wschodzie i północy – dopływ Bugu – Brok, Guber z Sajną oraz Gołdapa. Przebieg miesięcznych współczynników przepływu jest podobny jak w typie 3, jednak obserwuje się wyraźnie wyższe przepływy od lutego do kwietnia ($W > 150\%$), a maksymalna wartość współczynnika przepływu w marcu osiąga nawet 200%. Z kolei w miesiącach letnio-jesiennych jego wartość spada poniżej 50%.

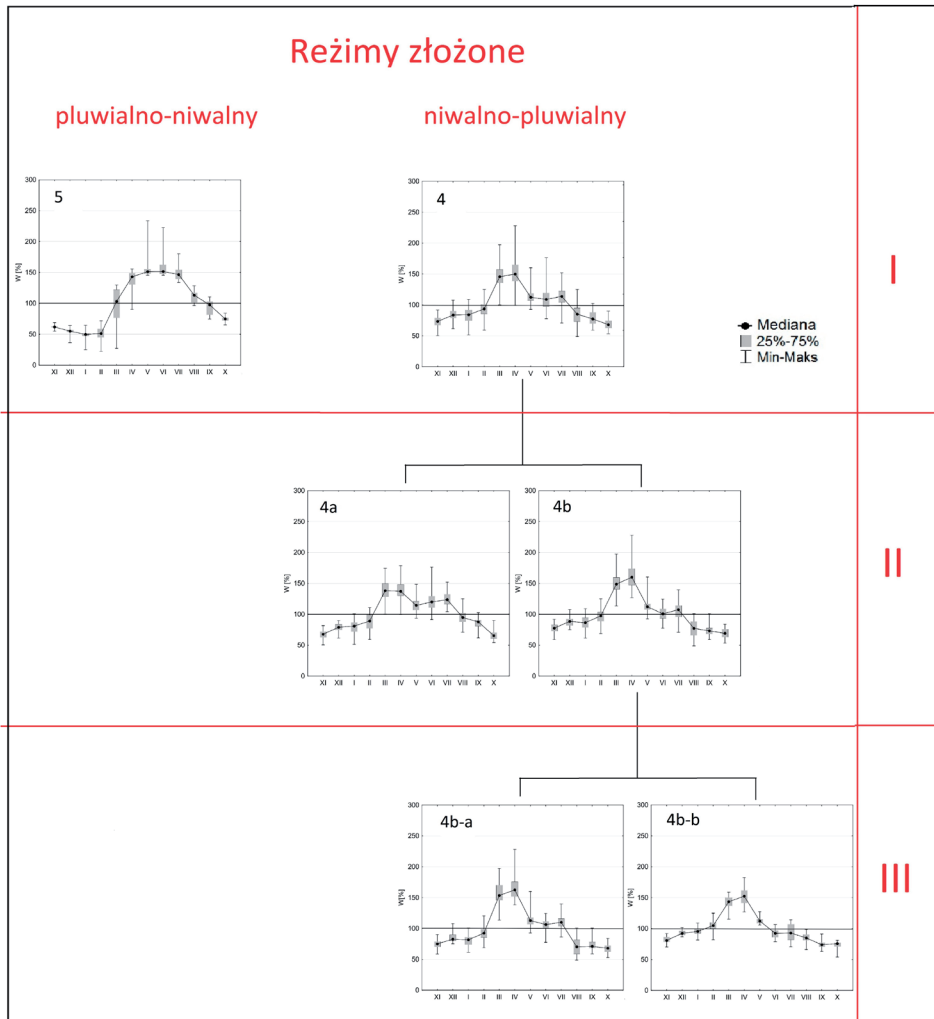
Podtyp 3b – występuje tylko na rzekach w północno-wschodniej części kraju. Ten podtyp reżimu reprezentuje Narew, Biebrza z Elkiem, Rospuda i Marycha. Rzeki te wyróżnia odmienny przebieg miesięcznych współczynników przepływu z niższymi wartościami w miesiącach zimowych (grudniu i styczniu, nieznacznie wyższych od 100%) oraz późniejszą kulminacją w kwietniu ($W = 190\%$).

Podtyp 3c – reprezentują pozostałe rzeki, na których zidentyfikowano typ 3 reżimu. Przebieg miesięcznych współczynników przepływu jest zbliżony do obserwowanego w podtypie 3a, jednak ich wartości są wyraźnie niższe, zwłaszcza



Ryc. 2. Zakres zmienności miesięcznych współczynników przepływu na trzech poziomach grupowania (I–III). Główne typy reżimu: 1 – nivalny słabo wykształcony, 2 – nivalny średnio wykształcony, 3 – nivalny silnie wykształcony.

Fig. 2. Range of variability of monthly flow coefficients at three levels of clustering (I–III). Major type of regime: 1 – nival, poorly developed, 2 – nival, moderately well developed, 3 – nival, very well developed.



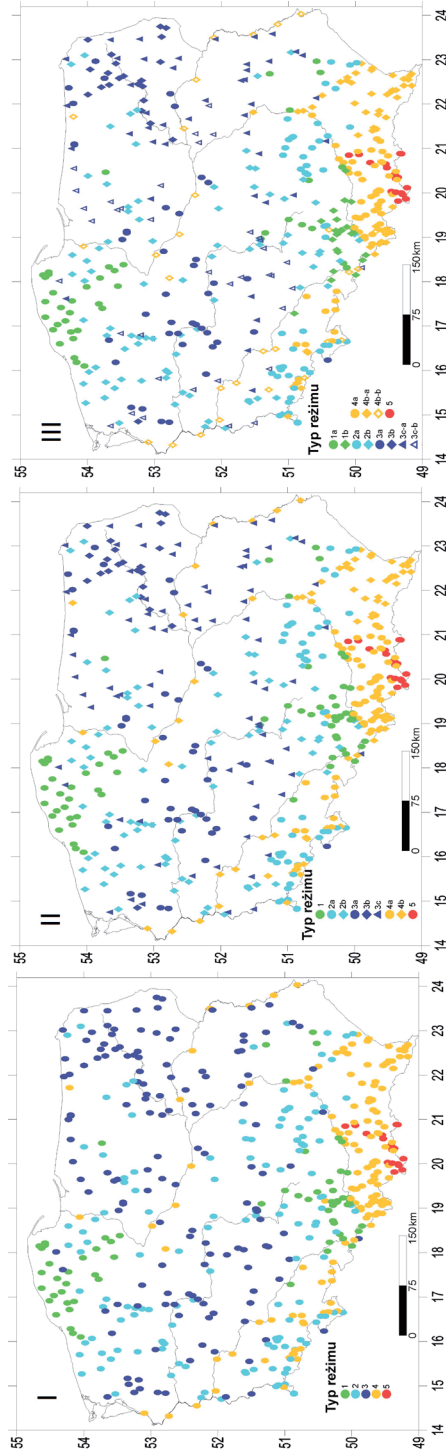
Ryc. 3. Zakres zmienności miesięcznych współczynników przepływu na trzech poziomach grupowania (I–III)

Główne typy reżimu: 4 – niwalno-pluwialny, 5 – pluwialno-niwalny.

Fig. 3. Range of variability of monthly flow coefficients at three levels of clustering (I–III)

Major type of regime: 4 – nival-pluvial, 5 – pluvio-nival.

w okresie wezbrań roztopowych. Maksimum przepływów występuje w marcu, a wartość W jest niższa niż 170%, a w kwietniu niższa niż 140%. W trzecim wariancie grupowania w tym podtypie wyróżniono dwie odmiany reżimu: **3c-a** i **3c-b**. Odmianę **3c-a** reprezentują: Barycz, Wolbórka i Luciąża w zlewni Pilicy, Radomka, większość rzek w zlewni Wieprza, dopływy Bugu – Uherka, Włodawka, Nurzec i Liwiec, oraz dopływy Narwi – Supraśl z Sokołdą, Rozoga, Omulew



Ryc. 4. Rozkład przestrzenny profili wodowskazowych w przeprowadzonym grupowaniu (na trzech poziomach I-III) ze względu na wartości miesięcznych współczynników przepływu

Główne typy reżimu: 1 – nivalny słabo wykształcony, 2 – nivalny średnio wykształcony, 3 – nivalny silnie wykształcony, 4 – nivalno-pluwialny, 5 – pluwialno-nivalny.

Fig. 4. Spatial distribution of gauges in the performed clustering (at three levels of clustering I-III) with respect to the values of monthly flow coefficients

Major type of regime: 1 – nival, poorly developed, 2 – nival, moderately well developed, 3 – nival, very well developed, 4 – nival-pluvial, 5 – pluvio-nival.

i Orzyc, a na północy w środkowym biegu Łyna i Węgorapa. Od grudnia do lutego ich przepływy są niskie, ale wyższe od przeciętnych ($W > 120\%$), a kulminacja przypada w marcu ($W = 170\%$) i kwietniu ($W = 150\%$). W porównaniu z odmianą 3c-a odmiana **3c-b** wyróżnia się wyższymi przepływami zimowymi (130–140%), podobnie wysoką kulminacją w marcu ($W = 170\%$) i niższym przepływem w kwietniu ($W = 125\%$). Taką odmianę reżimu reprezentują rzeki na północy w zlewni Elbląga – Dzierzgoń i Wąska, Wąska – dopływ Pasłęki, Elma – dopływ Łyny, górna Drwęca z Iławką i środkowa Wkra. W kotlinie warszawskiej tę odmianę reżimu reprezentują: Cienka, Czarna i Świder, w zlewni Warty: Proсна, Widawka z Grabią i Oleśnica, a w dorzeczu Odry: Widawa, Czarna Woda w zlewni Kaczawy oraz Skroda i Lubsza w zlewni Nysy Łużyckiej. Na północnym zachodzie kraju taką odmianę reprezentuje górna Płonia, Ina, Gowienica uchodząca do Zalewu Szczecińskiego, a także Czarna i Głomia w zlewni Gwdy.

Typ 4 – reżim niwalno-pluwialny zidentyfikowano w przypadku 143 profili (27,7%). Typ ten reprezentują rzeki karpackie, niektóre sudeckie (Nysa Kłodzka, rzeki w zlewni górnego Bobru, Bystrzyca z Piławą, Osobłoga z Prudnikiem), a także na całej długości Odra oraz Wisła z Bugiem. W przeciętnym cyklu rocznym od marca do lipca przepływy na tych rzekach są wyższe niż przeciętnie, z wyraźnymi dwoma kulminacjami: pierwszą po roztopach w miesiącach wiosennych (w marcu i kwietniu; $W = 150\%$) i drugą, niższą, po opadach letnich w czerwcu i lipcu ($W = 115\%$). W drugim wariantcie grupowania wyróżniono w tym typie dwa podtypy (**4a** i **4b**) – rycina 3 i 4.

Podtyp 4a wśród rzek karpackich, z wyjątkiem Dunajca, reprezentują rzeki od Skawy na zachodzie po Ropę, dopływ Wisłoki, na wschodzie. Ten podtyp reprezentuje też Wisła od Goczałkowic po Sandomierz, a z rzek sudeckich Nysa Kłodzka, Bystrzyca z Piławą i Osobłoga z Prudnikiem.

Podtyp 4b reprezentują pozostałe rzeki o 4 typie reżimu. Zwraca uwagę zwarta grupa rzek karpackich od Wisłoki po San, Wisła od Zawichostu po ujście oraz na całej długości Bug i Odra. Przebieg miesięcznych współczynników przepływu w obu podtypach jest odmienny. W podtypie 4a kulminacja wezbrania roztopowego przypada na dwa miesiące – marzec i kwiecień ($W = 140\%$), a kulminacja letnia, opadowa jest nieznacznie niższa i występuje w czerwcu i lipcu ($W = 120\text{--}125\%$). W podtypie 4b różnica między kulminacją wiosenną i letnią jest znacznie większa. Wartości miesięcznych współczynników przepływu w okresie wezbrań wiosennych są znacznie wyższe ($W > 150\%$), a kulminacja przypada na kwiecień ($W = 160\%$). W maju i czerwcu wartości przepływów wyraźnie spadają, nieznacznie przekraczając wartości średnie roczne. W lipcu zaznacza się niewielki wzrost przepływów, jednak maksymalne wartości współczynnika przepływu z reguły nie przekraczają 110%. Na jeszcze niższym poziomie grupowania (450) wśród rzek o tym podtypie reżimu wyróżniono dwie odmiany (**4b-a** i **4b-b**). Reżim typowo niwalno-pluwialny w odmianie 4b-a reprezentuje większość rzek wymieniona w podtypie 4b. W przebiegu

miesięcznych współczynników przepływu zaznacza się wyraźnie wzrost przepływów po roztopach wiosennych (marzec–kwiecień) z kulminacją w kwietniu ($W = 160\%$) oraz niewielki wzrost przepływu latem, w czerwcu i lipcu, po opadach ($W = 115\%$). Wśród rzek o *quasi*-naturalnym reżimie odmianę 4b-b reprezentują tylko rzeki tranzytowe – na całej długości Odra oraz Bug, a także Wisła od przyjęcia Narwi z Bugiem aż po ujście. O ile maksima przepływów, podobnie jak w odmianie 4b-a, przypadają na marzec i kwiecień z kulminacją w kwietniu, to są one wówczas niższe ($W < 150\%$), a przepływy w miesiącach letnich, choć w porównaniu z reżimem niwalnym średnio i silnie wykształconym są wyższe, zazwyczaj nie przekraczają wartości średnich rocznych ($W < 100\%$). Rzeki te reprezentują zatem raczej odmianę **reżimu pozornie niwalno-pluwialnego**. Na prawidłowości zmienności przepływów w cyklu rocznym rzeki tranzytowej wpływa reżim jej dopływów oraz opóźnienie jej zasilania ze względu na długość rzeki i rozmiar dorzecza.

Typ 5 – reżim pluwialno-niwalny zidentyfikowano na 19 profilach (3,7%) jedynie na rzekach w zlewni Dunajca. Taki reżim ma Dunajec na całym biegu oraz potoki w zlewni jego górnego biegu (Czarny i Biały Dunajec, Potok Kościeliski, Poroniec, Białka i Poprad). Rozkład odpływu w cyklu rocznym tych rzek jest na tyle specyficzny i odmienny od pozostałych rzek w kraju, że grupa tych rzek wyodrębnia się we wszystkich wariantach grupowania (analizowanych poziomach grupowania). Z przebiegu miesięcznych współczynników przepływu w przeciętnym cyklu rocznym wynika, że niższe niż przeciętnie przepływy obserwuje się na tych rzekach od września do lutego z minimum w styczniu ($W = 50\%$). Od marca odnotowuje się wzrost przepływów wywołany wezbraniem roztopowym na wiosnę, które jest późniejsze i łączy się z letnim, często wyższym, wezbraniem opadowym. Z tego względu okres wezbrań roztopowo-opadowych trwa bardzo długo, przez cztery miesiące, od kwietnia do lipca, a maksima przepływu, obserwowane od maja do lipca, są wyrównane, o współczynnikach przepływu wynoszących około 150%.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono charakterystykę reżimu rzek w Polsce ustalonego z zastosowaniem podejścia nienadzorowanego, opartego na wynikach grupowania rzek ze względu na wartości i przebieg miesięcznych współczynników przepływu w przeciętnym cyklu rocznym. Podział rzek uzyskany na wysokim poziomie grupowania wyraźnie nawiązuje do typologii rzek zaproponowanej z wykorzystaniem podejścia nadzorowanego według kryterium Dynowskiej (1997), stąd w pracy zastosowano zaproponowane przez autorkę nazewnictwo typów reżimów (Wrzesiński 2017b). W kolejnych wariantach grupowania, stosując coraz niższe poziomy grupowania, uzyskano bardziej szczegółową

typologię. W pierwszym wariacie (przy poziomie grupowania 1800) otrzymano podział profili hydrometrycznych na 5 grup, w drugim wariacie grupowania (na poziomie 900) uzyskano podział na 9 grup, a w trzecim (na poziomie 450) na 12 grup. Zidentyfikowano pięć głównych typów reżimu z siedmioma podtypami, wśród których wyróżniono cztery odmiany. Trzy pierwsze typy reprezentują reżimy proste – niwalne (śnieżne) z wezbraniem wiosennym lub zimowo-wiosennym. Typ 1 – reżim niwalny słabo wykształcony reprezentują rzeki o najbardziej wyrównanych przepływach, o najniższych wartościach miesięcznych współczynników przepływu i najmniejszej zmienności. Uwarunkowania cech reżimu tych rzek wynikają nie tylko z warunków naturalnych środowiska przyrodniczego zlewni, jak jest w przypadku rzek pojeziernych i przymorskich, ale także z działalności człowieka, w przypadku rzek regionu śląskiego (Wrzesiński 2017b). Te pierwsze reprezentują zazwyczaj podtyp 1a – reżim niwalny słabo wykształcony z niskim wezbraniem zimowo-wiosennym, a te drugie, wraz z dopływami w górnej części dorzecza Odry, podtyp 1b – z niskim wezbraniem wiosennym i wyrównanymi przepływami w miesiącach letnich ($W = 100\%$). Rzeki reprezentujące typ 2 – reżim niwalny średnio wykształcony wykazują najmniej zwartą przestrzennie grupę, spotyka się je w wielu regionach kraju. Rzeki w południowej części kraju, głównie na wyżynach i na Pogórzu Sudeckim, reprezentują podtyp 2a – z przeciętnym wezbraniem roztopowym na wiosnę i zaznaczającym się wzrostem przepływu latem, który nie przekracza zazwyczaj wartości średnich wieloletnich. W centralnej i północnej części kraju rzeki wykazują cechy typowe dla reżimu niwalnego średnio wykształconego (podtyp 2b) z przeciętnym (W do 150%) wiosennym wezbraniem roztopowym. Zróżnicowane przebiegi miesięcznych współczynników w wyróżnionych podtypach i odmianach reżimu niwalnego silnie wykształconego (typ 3) skłaniają do wyróżnienia dodatkowych kategorii w jego obrębie. Podtypy 3a i 3b można zaliczyć do reżimów niwalnych skrajnie silnie wykształconych, odpowiednio o wcześniejszych – w marcu (podtyp 3a) i o późniejszych – w kwietniu (podtyp 3b) maksimach odpływu. Analogicznie rzeki w podtypie 3c reprezentują reżim niwalny silnie wykształcony: w odmianie z wcześniejszym zimowo-wiosennym okresem wezbrań roztopowych (odmiana 3c-b) i w odmianie z późniejszym wiosennym okresem wezbrań roztopowych (odmiana 3c-a). Rzeki o podtypach i odmianach z wezbraniem wcześniejszymi wiosennymi i zimowo-wiosennymi reprezentują rzeki w zachodniej i środkowej części kraju, a te w odmianach z późniejszymi typowo wiosennymi wezbraniem są powszechniej spotykane na rzekach w północno-wschodniej i wschodniej części kraju. Typ 4 – reżim niwalno-pluwialny reprezentują głównie rzeki na południu kraju – rzeki przedgórze sudeckiego i podkarpacia. Wyróżnione w jego obrębie podtypy i odmiany wynikają ze stopnia wykształcenia letniego wezbrania opadowego. Podtyp 4a charakteryzuje się dwoma dobrze wykształconymi wezbraniem: wyższym roztopowym i nieznacznie niższym opadowym. Takie cechy reżimu odpływu

sprawiają, że reprezentują ten typ głównie rzeki karpackie w sąsiedztwie Dunajca i jego zlewni, a w Sudetach Nysa Kłodzka. Pozostałe rzeki o podtypie 4b charakteryzują się znacznie słabiej wykształconym wezbraniem opadowym w dwóch odmianach (4b-a i 4b-b). Reżim w odmianie 4b-a reprezentują rzeki z dobrze wykształconym wezbraniem roztopowym i słabo wykształconym, ale wyraźnie zaznaczającym się wezbraniem opadowym. Odmianę 4b-b reprezentują tylko rzeki tranzytowe – Odra oraz Wisła od ujścia Narwi z Bugiem i sam Bug. Reżim tych rzek można określić jako pozornie niwalno-pluwiálny z zaznaczającym się niewielkim wzrostem przepływu w okresie letnim, wynikającym z cech reżimu jej dopływów oraz z opóźnionego zasilania ze względu na długość rzek i rozmiar dorzecza. Typ 5 – reżim pluwiálny-niwalny zidentyfikowano tylko na rzekach w zlewni Dunajca. Wyróżnia się wyraźnym, długim i wyrównanym okresem wezbraniowym, co wynika z połączenia późnowiosennego wezbrania roztopowego z letnim wezbraniem opadowym. Cechy te sprawiają, że ten typ reżimu jest na tyle specyficzny i odmienny od pozostałych typów, że reprezentującą go grupę rzek wyodrębniono na wszystkich analizowanych poziomach grupowania. Uzyskane wyniki pozwalają na uszczegółowienie informacji o typologii reżimu rzek w Polsce i zachęcają do dalszych badań nad typologią reżimu opartych na nienadzorowanych metodach.

LITERATURA

- Dębski K., 1961: *Charakterystyka hydrologiczna Polski*, PWN, Łódź-Warszawa.
- Dynowska I., 1971: *Typy reżimów rzecznych w Polsce*, Zesz. Nauk. UJ, CCLXVIII, Pr. Geogr., 28, 150.
- Dynowska I., 1997: *Reżim odpływu rzeczny*, [w:] *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Dynowska I., Pociask-Karteczka J., 1999: *Obieg wody*, [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko Przyrodnicze*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 343–373.
- Gottschalk L., 1985: *Hydrological regionalization of Sweden*, Hydrol. Sc. J., 30(1), 65–83.
- Grimm F., 1968: *Das Abflussverhalten in Europa: Typen und regionale Gliederung*, Wiss. Veröffentlichung des Dt. Instituts für Länderkunde Leipzig, Neue Folge, 25/26, 18–180.
- Gutry-Korycka M. (red.), 2001: *Geograficzne uwarunkowania ustroju rzek*, WGSR UW, Warszawa 2001.
- Haines A.T., Finlayson B.L., McMahon T.A., 1988: *A global classification of river regimes*, Appl. Geogr., 8, 255–272.
- Jokiel P. (red.), 2015: *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź.
- Krasovskaia I., Amell N.W., Gottschalk L., 1994: *Flow regimes in northern and western Europe: development and application of procedures for classifying flow regimes*, [w:] P. Seuna, A. Gustard, N.W. Arnell, G.A. Cole (red.), *FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data*, Proc. Braunschweig Conf., October 1993, 185–193, IAHS 221.
- Lwówic M.I., 1979: *Zasoby wodne świata*, PWN, Warszawa.
- Mikulski Z., 1963: *Zarys hydrografii Polski*, PWN, Warszawa.
- Pardé M., 1957: *Rzeki*, PWN, Warszawa.

- Rotnicka J., 1988: *Taksonomiczne podstawy klasyfikacji reżimu rzecznego (na przykładzie zlewni Odry i rzek Przymorza)*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Wrzesiński D., 2013: *Entropia odpływu rzek w Polsce*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Wrzesiński D., 2017a: *Reżimy rzek Polski*, [w:] P. Jokiel, W. Marszelewski, J. Pociask-Karteczka (red.), *Hydrologia Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 215–221.
- Wrzesiński D., 2017b: *Typologia reżimu odpływu rzek w Polsce w podejściu nadzorowanym i nie-nadzorowanym*, *Bad. Fizjogr. R. VIII, Ser. A – Geogr. Fiz. (A68)*, PTPN, Poznań, 253–264.