

Uniwersytet Łódzki
Wydział Nauk Geograficznych
Pracownia Hydrologii i Gospodarki Wodnej

Beata Stanisławczyk

*Sezonowość przepływu i sezony hydrologiczne wybranych
rzek Polski*

Rozprawa doktorska przygotowana pod kierunkiem
Promotora: **Prof. dr hab. Pawła Jokiela**
oraz
Promotora pomocniczego: **Dr Przemysława Tomalskiego**

Łódź 2020

Spis treści

- 1. Wprowadzenie.**
- 2. Sezonowość przepływu i sezony hydrologiczne w literaturze przedmiotu.**
- 3. Materiał badawczy.**
 - 3.1. Zakres przestrzenny badań.
 - 3.2. Zakres czasowy badań.
- 4. Metody badań.**
 - 4.1. Miary i formuły statystyczne zastosowane w pracy.
 - 4.2. Procedury i miary oceny sezonowości odpływu.
 - 4.3. Delimitacja sezonów hydrologicznych.
- 5. Zmiany i zmienność charakterystyk sezonowości odpływu.**
 - 5.1. Przepływy charakterystyczne.
 - 5.1.1. Sezonowe rozmieszczenie odpływu.
 - 5.1.2. Trendy w szeregach miesięcznych przepływów charakterystycznych.
 - 5.1.2.1. Trendy w szeregach przepływów niskich.
 - 5.1.2.2. Trendy w szeregach przepływów średnich.
 - 5.1.2.3. Trendy w szeregach przepływów wysokich.
 - 5.1.3. Bezwładność w szeregach średnich przepływów miesięcznych.
 - 5.2. Termin połowy odpływu.
 - 5.2.1. Przestrzenne zróżnicowanie.
 - 5.2.2. Zmiany i fluktuacje w wieloleciu.
 - 5.2.3. Korelacje przestrzenne.
 - 5.3. Wskaźnik koncentracji odpływu.
 - 5.3.1. Przestrzenne zróżnicowanie.
 - 5.3.2. Zmiany i fluktuacje w wieloleciu.
 - 5.3.3. Korelacje przestrzenne.
 - 5.4. Indeks sezonowości i wskaźnik pory koncentracji odpływu.
 - 5.4.1. Przestrzenne zróżnicowanie.
 - 5.4.2. Zmiany i fluktuacje w wieloleciu.
 - 5.4.3. Korelacje przestrzenne.
 - 5.5. Najważniejsze cechy zmian i wieloletniej zmienności wybranych charakterystyk sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni.
- 6. Sezony hydrologiczne.**
 - 6.1. Charakterystyka wydzielonych sezonów hydrologicznych.
 - 6.2. Zróżnicowanie przestrzenne sezonowej struktury odpływu.
 - 6.3. Wieloletnie trendy przepływów charakterystycznych w zidentyfikowanych sezonach hydrologicznych.
- 7. Podsumowanie.**

Bibliografia.

Spis tabel.

Spis rysunków.

Spis załączników.

Załączniki.

1. Wprowadzenie.

Już na wczesnym etapie edukacji szkolnej – a nawet przedszkolnej, dowiadujemy się, że na obszarze Polski występują cztery pory roku: wiosna, lato, jesień, zima. Wiadomość tę uznajemy za oczywisty fakt. W życiu codziennym obserwujemy przecież następujące po sobie sezonowe zmiany w cyklu pogodowym. Na coraz wyższych poziomach kształcenia nasza wiedza w tym zakresie zostaje rozszerzona i usystematyzowana. Dowiadujemy się bowiem, iż w Polsce możemy wyróżnić sześć klimatycznych pór roku, w tym dwa oddzielne okresy przejściowe: przedwiosnie i przedzimie, a układ ten podyktowany jest wysokością średnich dobowych temperatur powietrza w poszczególnych porach (Kožuchowski 2000).

Mogłoby się wydawać, że kwestia następstwa pór roku i występowanie tych sezonów w układzie rocznym jest zbyt oczywista, żeby poruszać ją na łamach prezentowanej dysertacji. Zachodzi jednak pytanie: czy pory roku zawsze charakteryzują się tymi samymi cechami w wieloleciu? Innymi słowy, czy każdego roku lato jest tak samo ciepłe i słoneczne, a zima w takim samym stopniu zimna i śnieżna? Należałoby się zastanowić przy tym: czy zauważalne zmiany klimatu warunkują również zmienność sezonowej struktury przepływu rzek Polski? W hydrologii można również wyróżnić przecież pewne „pory” (fazy) w rocznym cyklu przepływu rzeki – są to pory formowania się: niskich, średnich i wysokich przepływów. Rozmieszczenie tych faz odpływu w cyklu rocznym oraz ich długości są ściśle związane i wraz ze sposobami zasilania decydują o typie reżimu hydrologicznego danej rzeki.

Wyniki badań licznych opracowań literatury przedmiotu nie pozostawiają wątpliwości, że globalne ocieplenie klimatu jest faktem (Bates i in. 2008; Kundzewicz 2011). W pracach polskich klimatologów niejednokrotnie zwraca się uwagę między innymi na wzrost tem-

peratury powietrza w chłodnej porze roku. Jednocześnie, stwierdzono spadek rocznej amplitudy temperatury powietrza w naszym kraju (Kozuchowski i in. 2000; Degirmendzić i in. 2004). Udokumentowano również, iż w skali wielolecia zima staje się coraz cieplejsza (występuje wzrost średnich temperatur powietrza od stycznia do marca) oraz coraz wcześniej następuje początek i koniec tej pory roku (Marsz 2005; Żmudzka 2009). Wraz ze zmianami temperatury powietrza w cyklu rocznym następują zmiany wysokości opadów atmosferycznych. Zauważalny jest bowiem spadek udziału sum opadów w ciepłym półroczu w sumie rocznej. Tego rodzaju zmiany charakterystyk klimatycznych interpretowane są jako osłabienie kontynentalnych cech klimatu Polski, który zdaje się nabierać bardziej oceanicznego charakteru.

Prognozy sporządzane dla obszaru Polski wskazują, że wraz z nasilaniem się wahań i zmian klimatycznych, wzrasta i nadal będzie wzrastać ryzyko coraz częstszego występowania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych, do których należą susze oraz powodzie (Alert Wodny 2 2020). Z jednej strony można spodziewać się występowania dłuższych okresów bezopadowych, z drugiej natomiast pojawiania się częstych epizodów bardzo ulewnych opadów deszczu, które przybierają najbardziej katastrofalną formę na obszarach górskich, podgórskich i silnie zurbanizowanych (tzw. *flash floods* – powodzie błyskawiczne i *urban floods* – powodzie miejskie) (Bartnik, Jokiel 2012; Kundzewicz i in. 2014; Alert Wodny 3 2020).

Poza zmianami zachodzącymi w obrębie zmiennych klimatycznych, nie można zapomnieć również o gospodarce wodnej i szeroko pojmowanej działalności człowieka na obszarach zlewni rzecznych. Przekształcenia środowiska przyrodniczego w wyniku antropopresji równie mocno oddziałują i modyfikują sezonową strukturę przepływu rzek Polski (Soja 2002; Wiejaczka 2011; Absalon, Matysik 2016; Wrześniński 2016).

Zasadniczym celem prezentowanej dysertacji jest identyfikacja oraz wielopłaszczyznowa ocena zmian i wieloletniej zmienności różnych aspektów sezonowości odpływu w grupie zlewni położonych w różnych regionach Polski. Analizę zmian zachodzących w sezonowej strukturze odpływu rzeczno przeprowadzono w oparciu o kilka miar sezonowości: termin połowy odpływu (*TPO*) (Bartnik, Jokiel 2005), wskaźnik koncentracji odpływu (*GMO*) (Olivier 1980; Soja 2002) oraz indeks sezonowości (*IS*) i termin pory koncentracji Markhama (*WPK*) (Markham 1970). Zidentyfikowano również siłę oraz kierunki trendów wieloletnich w obrębie serii miesięcznych przepływów charakterystycznych. Jednocześnie, dokonano oceny stopnia i charakteru bezwładności w szeregach średnich przepływów miesięcznych w grupie badanych rzek Polski. Przeprowadzono przy tym próbę typologii analizowanych rzek pod względem podobieństwa stopnia bezwładności przepływów. Jednym

z głównych założeń badawczych prezentowanej dysertacji jest także ocena sezonowej struktury odpływu rocznego i jej fluktuacji w oparciu o wyznaczone sezony hydrologiczne (Jokiel, Tomalski 2014a). Ważnym aspektem badań i analiz jest również identyfikacja przyczyn zróżnicowania przestrzennego wskazanych miar i aspektów sezonowości oraz próba typologii rzek z punktu widzenia sezonowości przepływu.

Szczegółowe cele badawcze realizowane w przedstawionej pracy obejmują:

- ocenę charakteru i kierunku zmian zachodzących w wieloletnich szeregach czasowych miesięcznych przepływów badanej grupy rzek Polski (analizy dotyczą niskich, średnich i wysokich przepływów charakterystycznych głównych pierwszego stopnia) wraz z próbą zidentyfikowania istotnych tendencji i prawidłowości regionalnych;
- ocenę stopnia bezwładności w szeregach średnich przepływów miesięcznych badanych rzek Polski wraz z próbą wyodrębnienia różnych grup cieków, cechujących się względnym podobieństwem charakteru inercji tych przepływów;
- ocenę statystycznej istotności oraz siły i kierunków zmian zachodzących w wieloletnich szeregach czasowych wybranych miar sezonowości przepływu badanych rzek Polski (*TPO, GMO, IS, WPK*);
- zidentyfikowanie istotnych tendencji, prawidłowości regionalnych oraz korelacyjnych związków przestrzennych w wektorze miar sezonowości wraz z próbą wydzielenia i opisu względnie jednorodnych typów sezonowości przepływu występujących w obrębie zbadanego zbioru rzek Polski;
- próbę wydzielenia i scharakteryzowania sezonów hydrologicznych występujących w poszczególnych rzekach badanego zbioru wraz z oceną przestrzennego zróżnicowania i przyczyn obserwowanych różnic oraz podobieństw.

2. Sezonowość przepływu i sezony hydrologiczne w literaturze przedmiotu.

Opierając się na definicjach zaczerpniętych ze słownika języka polskiego oraz słownika wyrazów obcych, termin „sezon” należałoby utożsamiać z daną porą roku lub – w szerszym znaczeniu – z pewnym okresem w ciągu roku, który jest stosowny do podejmowania i prowadzenia danej działalności (Skorupka i in. 1968; Sobol 1996). Wydaje się również, iż takie wyjaśnienie pojęcia „sezon” czy „sezonowy” (jako odpowiedni dla danego sezonu) jest najpowszechniej funkcjonującą definicją, używaną w życiu codziennym. Następujące po sobie pory roku są bowiem jednym z najbardziej odczuwalnych i bezpośrednich oznak upływającego czasu. Warto zauważyć, że także w meteorologii terminy „sezon” oraz „pora” traktuje się zwykle jako pojęcia jednoznaczne i stosowane są często zamiennie (Kożuchowski 2000; Niedźwiecki 2003). W innych dziedzinach nauki pojęcie „sezonowość” jest najczęściej rozpatrywane w szerszym znaczeniu. Chociażby w statystyce, sezonowość występująca w szeregach chronologicznych powiązana jest ze zmiennością sezonową bądź wahaniem sezonowymi, które charakteryzują się określonym okresem oraz amplitudą (Sadowski 1976). Na tej podstawie można zauważyć, iż jeśli dany proces lub zjawisko zmienia się w sposób sezonowy (zmiany mają charakter cykliczny i regularny), to wyróżniają się one pewną sezonowością.

Przedmiotem zainteresowań naukowych w pierwszych pracach dotyczących sezonowości procesów hydrologicznych były w głównej mierze sezonowe zmiany przepływu rzeczno-ego. Badania sezonowości przepływu rzeczno-ego stanowiły natomiast początek rozważań dotyczących typologii i charakterystyki reżimów hydrologicznych. W literaturze przedmiotu

nie brakuje opracowań, które przedstawiają próby klasyfikacji reżimu hydrologicznego rzek, zarówno w skali globalnej, jak i w odniesieniu do obszaru Polski.

Pierwszą klasyfikację, która w ujęciu ilościowym różnicuje rzeki pod względem wielkości przepływu przedstawił Wojekow (1884) (za Gutry–Korycka, Binh Tang 2001). Typologia ta odnosi się nie tylko do sezonowego rytmu zmian stanów wody w danej rzece, który w świetle omawianej klasyfikacji jest uzależniony przede wszystkim od warunków klimatycznych, ale również informuje o przeważającym rodzaju zasilania rzeki. Na podstawie przeprowadzonych badań wspomniany wyżej Autor wydzielił dziewięć klas rzek.

Jednym z fundamentalnych opracowań ukazujących typologię reżimu hydrologicznego rzek w ujęciu globalnym jest bez wątpienia praca Pardé'go (1957). Podstawowymi kryteriami wyróżniania poszczególnych typów reżimu rzeczno-ego były w niej głównie sposób zasilania danej rzeki oraz przebieg sezonowych zmian jej przepływu w ciągu roku. Według Pardé'go bowiem „(...) ze wszystkich elementów hydrologii, rytm sezonowy jest tym, który najwięcej rzuca się w oczy nawet mało uważnym obserwatorom; on to wyjaśnia w sposób najbardziej oczywisty współdziałanie różnych czynników i najlepiej pozwala klasyfikować rodzaje rzek” (Pardé 1957, s. 89). Autor, na podstawie ilości i rodzaju form zasilania danej rzeki oraz liczby wystąpień faz o ekstremalnych (minimalnych i maksymalnych) przepływach w ciągu roku, wyróżnił trzy typy reżimu hydrologicznego: prosty, złożony pierwotny oraz złożony wtórny. Identyfikacji okresów o wzmożonym oraz zmniejszonym zasilaniu rzek, która stanowi podstawę charakterystyki poszczególnych rodzajów reżimów rzecznych, dokonał za pomocą autorskiej miary, czyli tzw. względnego miesięcznego współczynnika przepływu. Należy zatem zauważyć, iż zastosowanie wielkości współczynnika przepływu jako kryterium przynależności rzeki do poszczególnego reżimu hydrologicznego wpłynęło na wzrost czytelności przeprowadzonej typologii i spowodowało, że nabrała ona charakteru ilościowego (klasyfikacji).

Nie ulega wątpliwości, iż szczególne miejsce w badaniach hydrologicznych dotyczących typologii reżimów rzecznych w skali globalnej zajmuje opracowanie Lwowicza (1979). Autor ten klasyfikację reżimów hydrologicznych także opracował biorąc pod uwagę liczbę i formę zasilania rzeki oraz zmienność sezonowej struktury przepływu w ciągu roku. Analizując genetyczny podział hydrogramu przepływu, wyodrębnił cztery typy zasilania rzek: śnieżny, lodowcowy, deszczowy oraz podziemny. Zmienność odpływu w ciągu roku zastała natomiast scharakteryzowana na podstawie procentowego udziału odpływu rzeczno-ego w danej porze roku (brano pod uwagę pory kalendarzowe: wiosna, lato, jesień, zima) w stosunku do wielkości odpływu rzeczno-ego w roku. Na podstawie tych założeń, wyodrębnił dwana-

ście rodzajów złożonych form zasilania rzek oraz dwanaście typów sezonowej struktury przepływu. Daje to łącznie teoretyczną liczbę 144 możliwych reżimów rzecznych. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż wyniki przeprowadzonej typologii reżimów rzek świata Autor przedstawił również w formie kartograficznej.

W literaturze przedmiotu istnieje wiele przykładów, które świadczą o tym, iż problematyka klasyfikacji bądź reklasyfikacji reżimów rzecznych w skali globalnej była w kolejnych latach wielokrotnie podejmowana. Warto w tym miejscu wspomnieć chociażby o typologii przedstawionej przez Hadleya (1974/1979) (za Gutry–Korycka, Binh Tang 2001), która nawiązuje w znacznej mierze do wcześniejszych klasyfikacji m. in. Pardé (1957) i Lwowicza (1979). Autor ten dokonał podziału dorzeczy w makro skali, uwzględniając przy tym ich warunki fizycznogeograficzne, charakter sezonowych zmian zasilania pochodzącego z opadów atmosferycznych oraz miary charakteryzujące odpływ podziemny. Typologia ma tu w dużym stopniu charakter regionalizacji i została przedstawiona w formie kartograficznej (regiony wodne).

Zupełnie odmienną metodę klasyfikacji reżimów hydrologicznych rzek świata zaproponowali Haines, Finlayson oraz McMahon (1988). Wymienieni Autorzy przeprowadzili typologię reżimów rzecznych w oparciu o metodę analizy skupień. Danymi wyjściowymi były tutaj średnie przepływy miesięczne rzek wyrażone w postaci współczynnika przepływu Pardé'go, czyli procentowe udziały średniego miesięcznego przepływu rzeki z wielolecia do średniego rocznego przepływu. Materiał hydrometryczny pochodził z 969 posterunków wodowskazowych, zlokalizowanych w 66 państwach świata. Na podstawie przeprowadzonej procedury grupowania hierarchicznego dla danych pomiarowych wyodrębniono w skali świata piętnaście typów reżimów rzecznych (Haines i in. 1988).

Autorami pierwszych prac zawierających kompleksową charakterystykę stosunków hydrologicznych Polski na tle środowiska geograficznego oraz warunków klimatycznych panujących na terenie kraju byli Dębski (1961) oraz Mikulski (1963). Warto zwrócić uwagę, iż wspomniani Autorzy podjęli także próbę oceny sezonowej struktury odpływu rzeczego w Polsce. Realizowana tematyka nie odnosiła się co prawda bezpośrednio do zagadnienia reżimu rzeczego, ale w głównej mierze sprowadzała się do identyfikacji i charakterystyki faz formowania się wzebrań oraz niżówek. Pierwszy z badaczy zauważył przy tym, iż zmienność odpływu jest w naszym kraju zdecydowanie większa od zmienności opadów atmosferycznych, a zatem od zmian składowej klimatu, która odgrywa główną rolę w kształtowaniu zasobów wodnych Polski. Zwrócił ponadto uwagę na fakt, że w rzekach polskich w każdej porze roku istnieje możliwość wystąpienia zarówno wysokiego wezbrania, jak i głębokiej niżówki.

Problematyka wieloletnich zmian przepływu rzek Polski była w kolejnych latach wielokrotnie rozpatrywana w odniesieniu do różnych horyzontów czasowych ubiegłego wieku (m. in.: Stachý 1968, 1970; Stachý i in. 1979; Fal 1993; Fal i in. 1997). Badania dotyczące zmienności sezonowego rozmieszczenia odpływu rzeczno-eg w Polsce również znajdowały się w kręgu zainteresowań polskich hydrologów. Przykładem są chociażby prace dotyczące identyfikacji oraz kompleksowej charakterystyki susz na obszarze kraju (Farat i in. 1995) oraz wezbrań rzek polskich (Stachý i in. 1996).

Dynowska (1972) przedstawiła pierwsze syntetyczne studium charakteryzujące reżimy (ustroje) hydrologiczne rzek Polski. Ocena czasowej zmienności przepływu rzeczno-eg i jego przestrzennego zróżnicowania została przez Autorkę przeprowadzona w oparciu o ciągi średnich przepływów dobowych z okresu 1951–1960 dla wybranych rzek autochtonicznych z różnych regionów fizycznogeograficznych kraju. Autorka wydzieliła główne typy reżimów hydrologicznych rzek Polski w oparciu o poziom zmienności w ciągach dobowych przepływów oraz współczynnik nieregularności w odniesieniu do szeregów miesięcznych przepływów. Jednocześnie, w przeprowadzonej typologii reżimów rzecznych wzięto pod uwagę pory formowania się wezbrań i rodzaje zasilania cieków. W oparciu o charakter zmienności odpływu wyróżniono na obszarze Polski reżimy: niewyrównany, umiarkowany oraz wyrównany wraz z podtypami odnoszącymi się do pozostałych kryteriów. Bardziej rozbudowane, kartograficzne opracowanie występowania w Polsce reżimów rzecznych Autorka przedstawiła w Atlasie Rzeczypospolitej Polskiej (1994). Zastosowany tam podział uwzględnia pięć rodzajów reżimów hydrologicznych (deszczowo-śnieżny, śnieżno-deszczowy oraz śnieżny silnie, średnio i słabo wykształcony). Jest on rozbudowany o charakterystyki udziału zasilania podziemnego i powierzchniowego w odpływie całkowitym oraz uwzględnia miary zmienności przepływów dobowych.

Rotnicka (1977, 1988) przedstawiła odmienną od dotychczasowych próbę klasyfikacji reżimu polskich rzek, opierającą się o analizę sezonowości przepływu. Ocenę zmian czasowego rozmieszczenia odpływu rzeczno-eg w cyklu rocznym Autorka przeprowadziła na podstawie wydzielonych okresów hydrologicznych. Metoda delimitacji tych okresów opiera się na procedurze grupowania, przy czym cechą, która stanowi jego podstawę jest stan wody, natomiast za elementarną jednostkę czasową w grupowaniu przyjęto pentadę (pięć kolejnych dni w roku hydrologicznym). Okresem hydrologicznym, w omawianej procedurze, jest zatem szereg następujących po sobie dni (pentad), relatywnie podobnych do siebie pod względem wielkości i poziomu wieloletniej zmienności stanu wody w rzece. Wydzielone odcinki (okre-

sy hydrologiczne) na rocznym hydrogramie zostały przez Autorkę zastosowane do identyfikacji reżimów wodnych wybranych rzek dorzecza Odry oraz Przymorza (Rotnicka 1988).

W ostatnich latach podejmowane były kolejne interesujące próby identyfikowania reżimów rzek Polski na podstawie oceny względnie jednorodnych faz (sezonów) wydzielonych w rocznym cyklu przepływu. Wieloaspektową analizę wieloletnich zmian oraz rozpoznanie charakteru sezonowej zmienności odpływu rzecznego na obszarze Kujaw (zlewnia Zgłowiączki) przedstawił Bartczak (2007). Badania charakteru sezonowej zmienności odpływu rzecznego oraz opadów atmosferycznych przeprowadzono w oparciu o tzw. model wahań w czasie. Zgodnie z realizacją założeń tego modelu, zbadano zmienność w szeregach czasowych obu wymienionych charakterystyk pod względem: istnienia tendencji wieloletniej (trendu), oceny wielkości wahań sezonowych wywoływanych przez czynniki cykliczne (w tym warunki pogodowe, które wpływają chociażby na pory formowania się wezbrań i niżówek) oraz określenia wielkości i roli wahań przypadkowych będących przyczyną zdarzeń występujących losowo i w nieregularnych odstępach czasu. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań Autor wyodrębnił w analizowanej zlewni kilka okresów odznaczających się odmiennym charakterem odpływu rzecznego i jego zmienności.

W badaniach hydrologicznych dotyczących wieloletniej oraz sezonowej zmienności odpływu rzecznego, a zatem odnoszących się do identyfikacji zmian zachodzących w reżimie rzek, niejednokrotnie zaadaptowano miary bądź procedury obliczeniowe pierwotnie stosowane w innych dziedzinach nauki. Można w tym miejscu posłużyć się przykładem badań przeprowadzonych przez Wrześnińskiego (2009a, 2013a,b; Wrześniński, Tomaszewski 2010). Autor ten w analizach hydrologicznych zastosował miary, których geneza związana jest się z teorią entropii informacji. W odniesieniu do teorii informacji, entropia stanowi wskaźnik objaśniający stopień nieuporządkowania (niepewności, chaosu) danego zbioru. Założenia wynikające z entropii informacji wykorzystano m. in. do oceny stabilności wybranych charakterystyk hydrometeorologicznych (temperatura powietrza, opady atmosferyczne, odpływ rzeczny) w Polsce w drugiej połowie XX wieku (Wrześniński, Tomaszewski 2010). Przeprowadzono również analizę stabilności reżimu wodnego polskich rzek, która została określona na podstawie stopnia regularności terminów formowania się wezbrań i niżówek w cyklu rocznym (Wrześniński 2009a). Warto nadmienić, że dokonano także oceny poziomu niepewności wybranych charakterystyk opisujących reżim hydrologiczny rzek kontynentu europejskiego (Wrześniński 2013b).

Swoiste przypięczętowanie badań Wrześnińskiego dotyczących oceny stabilności reżimu hydrologicznego polskich rzek przedstawia kompleksowe opracowanie „Entropia odpły-

wu rzek w Polsce” (2013a). Jeden z kluczowych elementów omawianej rozprawy naukowej stanowią dwie propozycje klasyfikacji rzek w skali Polski. Pierwsza zaproponowana typologia różnicuje rzeki pod względem stopnia nieuporządkowania (niepewności) charakterystyk ich reżimu wodnego. Na podstawie przeprowadzonej procedury grupowania, wydzielono sześć typów rzek w Polsce, które różnią się między sobą entropią odpływu, a tym samym stabilnością reżimu hydrologicznego. W rozpatrywanym opracowaniu przedstawiono również drugą typologię, w której kryterium klasyfikacji polskich rzek stanowiły zmiany stabilności (wielkości entropii) przepływu w dodatniej oraz ujemnej fazie Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO). W przypadku tej klasyfikacji również wyszczególniono sześć typów rzek, które w zależności od danej fazy NAO (dodatniej lub ujemnej) różnią się stabilnością sezonowej struktury przepływu. Wymieniony wyżej Autor w swych licznych pracach przedstawia nie tylko próbę klasyfikacji reżimów hydrologicznych rzek Polski, ale również dokonuje oceny zmian i modyfikacji różnych cech tych reżimów w wieloleciu (np. Wrzeński 2013c, 2014, 2016, 2017b). Wyniki tych prac dowodzą, że problematyka sezonowej struktury odpływu rzecznej i jej zmian na przestrzeni wielolecia jest żywa, ważna i często podejmowana w literaturze hydrologicznej.

W ostatnich latach równie interesującą próbę oceny wieloletnich zmian oraz sezonowej zmienności struktury przepływu rzek Polski przedstawili Jokiel i Tomalski (2014a). Procedura badawcza polega na identyfikacji względnie jednorodnych okresów, nazwanych sezonami hydrologicznymi, które można wyróżnić w oparciu o statystyczną analizę przepływów rzecznych w cyklu rocznym. Wybrane do tego charakterystyki hydrologiczne: średni wieloletni przepływ, współczynnik zmienności wieloletniej przepływu, współczynnik autokorelacji z uwzględnieniem przesunięcia wynoszącego jeden rok oblicza się na podstawie danych dobowych dla szeregów jednoimiennych dni wielolecia. Omawiana metoda badawcza prowadzi zatem do delimitacji dłuższych sekwencji dni (sezonów hydrologicznych) na rocznym hydrogramie przepływu rzeki, które odznaczają się stosunkowo dużym podobieństwem pod względem wielkości i poziomu zmienności przepływu oraz podobnym charakterem inercji. Założenia rozpatrywanej procedury wydzielania sezonów hydrologicznych znalazły zastosowanie do oceny charakteru, siły i kierunków zmian sezonowej struktury przepływu wybranych rzek środkowej Polski (Jokiel, Tomalski 2014a, 2015a,b) oraz w analizach porównawczych rzek odwadniających różne regiony kraju (Stanisławczyk, Tomalski 2015, 2017). Ocenione zostały również zmiany układu i charakteru sezonów hydrologicznych na posterunkach wodowskazowych zlokalizowanych wzdłuż biegu dwu największych rzek Polski: Wisły i Odry (Jokiel, Tomalski 2019). Z uwagi na fakt, iż wskazana powyżej procedura wydzielania sezonów hy-

drologicznych została zastosowana do realizacji celów badawczych w ramach prezentowanej rozprawy doktorskiej, zostanie ona omówiona dokładniej w dalszej części pracy (patrz rozdz. 4.3.).

Nieustające zainteresowanie środowiska naukowego dotyczące rozpoznania charakteru sezonowości zjawisk hydrologicznych, w tym przede wszystkim sezonowych wahań odpływu rzeczno, przyczynia się do ciągłego rozwoju metod badawczych. W literaturze przedmiotu niejednokrotnie przedstawiane są propozycje nowych procedur obliczeniowych, a także próby konstrukcji wskaźników, które umożliwią ilościową ocenę poziomu sezonowości danego zjawiska. Przykładami takich miar, które znalazły zastosowanie w analizach zmian stopnia sezonowości zmiennych hydrologicznych są: wskaźnik pory koncentracji (*WPK*) oraz indeks sezonowości (*IS*) opracowane wcześniej przez Markhama (1970) (patrz rozdz. 4.2.). Warto zauważyć, że charakterystyki te zostały skonstruowane oraz zastosowane w badaniach nad wieloletnią zmiennością opadów atmosferycznych. W opracowaniu poświęconemu problematyce zmian wybranych elementów hydroklimatycznych w Polsce w latach 1901–1980, Jokiel i Kożuchowski (1989) wykorzystali miary Markhama w analizach zmienności nie tylko opadów atmosferycznych, ale wykazali przydatność tych wskaźników również w badaniach wieloletnich zmian odpływu rzeczno. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że przeciętny termin pory koncentracji odpływu występuje wcześniej w dorzeczu Odry (92 dzień roku hydrologicznego) niż w dorzeczu Wisły (106 dzień roku hydrologicznego). Wyniki badań wskazują, iż w przekroju wieloletnim w dorzeczu Odry notuje się większy odpływ rzeczno w chłodnej porze roku oraz wcześniejszą porę formowania się wezbrań roztopowych w porównaniu z dorzeczem Wisły. Ponadto, wskaźnik pory koncentracji odpływu charakteryzuje się znacznie większą zmiennością w przypadku Odry (75%) w relacji do Wisły (55%). Równocześnie, w dorzeczu Wisły termin pory koncentracji odpływu pojawiał się w badanym wieloleciu coraz później (istotny trend dodatni), co może świadczyć o swoistej „kontynentalizacji” reżimu wodnego tej rzeki.

W kolejnych latach wskaźniki opracowane przez Markhama były wielokrotnie wykorzystywane w charakterystyce wieloletnich zmian zachodzących w sezonowej strukturze przepływu polskich rzek. Znaczna część opracowań poświęcona jest analizom stopnia sezonowości odpływu rzeczno w środkowej Polsce (Bartnik, Jokiel 2001, 2005, 2009, 2015). Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że stopień sezonowości odpływu nie jest wysoki w tej części kraju – średni indeks sezonowości dla wielolecia wynosi 22% i jest niższy od podobnego wskaźnika charakteryzującego sezonowość opadów atmosferycznych w Polsce (od 24% do 30%) (Bartnik, Jokiel 2001). Przyczyną jest oczywiście retencja. Na podstawie

analizy wieloletniego przebiegu indeksu sezonowości stwierdzono, iż w ostatniej dekadzie XX wieku zaznaczył się nieznaczny wzrost poziomu sezonowości przepływu rzek środkowej Polski. Pora koncentracji odpływu przypadała w tym okresie najczęściej w marcu (Bartnik, Jokiel 2001, 2005, 2009, 2015).

Na podstawie analizy zmian indeksu sezonowości w wieloleciu przeprowadzono również próbę oceny zmienności sezonowego rozkładu odpływu rzeczno-ze zlewni, reprezentujących różne regiony fizycznogeograficzne Polski (Jokiel, Stanisławczyk 2016). Wyniki przeprowadzonych analiz dowodzą, że poziom sezonowych zmian przepływu polskich rzek, wyrażony średnim indeksem sezonowości Markhama, jest zróżnicowany (8%–37%), ale podobny do zidentyfikowanego w obrębie opadów atmosferycznych w naszym kraju (Kozuchowski, Wibig 1988) oraz występującego w przepływie rzek w środkowej Polsce (Bartnik, Jokiel 2001, 2005, 2009).

Wskazane wyżej charakterystyki zostały również zaadaptowane do badań sezonowej zmienności innych charakterystyk hydrologicznych. Indeks sezonowości i wskaźnik pory koncentracji posłużyły zatem do oceny poziomu sezonowych zmian odpływu podziemnego nie tylko w środkowej Polsce (Tomaszewski 2007), ale również na obszarze całego kraju (Tomaszewski 2001). Przeprowadzono także analizę sezonowych wahań odpływu niskiego w Polsce (Bartnik 2005) oraz zbadano zmienność sezonową niedoboru odpływu niżówkowego w rzekach środkowej Polski (Tomaszewski 2012, 2014, 2015). Stwierdzono również przydatność omawianych miar do badań poziomu sezonowości wahań zwierciadła płytkich wód podziemnych (Tomalski 2010, 2011) oraz wieloletniej zmienności wydajności źródeł (Moniewski 2015ac; Bartnik, Moniewski 2019). W opracowaniach hydrologicznych, indeks sezonowości i wskaźnik pory koncentracji niejednokrotnie też wykorzystywano do oceny sezonowych zmian podstawowych właściwości fizykochemicznych wód powierzchniowych oraz podziemnych (Moniewski 2004, 2015b; Stolarska 2008; Tomalski 2012; Bartnik, Moniewski 2015).

Kolejną charakterystyką, którą z powodzeniem zaadaptowano do badań dotyczących detekcji zmian reżimu rzeczno-ze zlewni jest wskaźnik koncentracji odpływu rzeczno-ze zlewni: *GMO* (patrz rozdz. 4.2.). Wskaźnik ten został skonstruowany przez Oliviera (1980) i pierwotnie posłużył do oceny stopnia sezonowości rozmieszczenia opadów atmosferycznych w cyklu rocznym. Oceny przydatności tej miary do badań hydrologicznych dokonano po raz pierwszy w opracowaniu Soji (2002). Wspomniany Autor za pomocą wskaźnika *GMO* ocenił i zbadał poziom sezonowości przepływu rzek karpacczych w latach 1951–1995. Już na podstawie tych analiz należy stwierdzić, że omawiana miara może być z powodzeniem wykorzystywana do monito-

rowania zmian reżimu hydrologicznego rzek. Obliczone wskaźniki *GMO* dla serii średnich miesięcznych przepływów w wieloleciu wskazują, że największą koncentracją w cyklu rocznym, a tym samym wysokim stopniem sezonowości przepływu, odznaczają się rzeki odwadniające obszary wschodniej części Karpat. Bardzo interesujące wnioski płyną także z analizy zmian wielkości wskaźnika *GMO* wyznaczonych dla poszczególnych lat wielolecia. Okazuje się bowiem, iż szczególnie wysokie wskaźniki notuje się w latach o wyjątkowo wzmożonym odpływie będącym konsekwencją bardzo wysokich wiosennych wezbrań roztopowych. Równocześnie, zdecydowanie mniejszy wpływ na wzrost stopnia koncentracji przepływu rzek karpackich wywierają letnie wezbrania opadowe. Warto również nadmienić, że w przypadku niemal wszystkich badanych rzek z obszaru Karpat (27 przekrojów wodowskazowych na 29 obserwowanych rzekach) zanotowano zmniejszenie poziomu koncentracji przepływu w wieloleciu, a co za tym idzie spadek sezonowości przepływu.

Wskaźnik koncentracji odpływu *GMO* został ponownie wykorzystany w wieloaspektowej analizie zmian sezonowej struktury odpływu z wybranych zlewni Karpat oraz niektórych posterunków wodowskazowych Wisły (Jokiel, Tomalski 2017, 2018). Wyniki przeprowadzonych badań dowodzą, że wskaźnik ten odznacza się statystycznie istotną i mocną korelacją z omówionym wyżej indeksem sezonowości Markhama (*IS*). Jednocześnie, wskaźnik koncentracji odpływu *GMO* nie wykazuje istotnej statystycznie współzmienności w wieloleciu ze wskaźnikiem pory koncentracji Markhama (*WPK*). Na tej podstawie można zatem wysnuć przypuszczenie, że zarówno wskaźnik koncentracji odpływu *GMO*, jak i indeks sezonowości zaproponowany przez Markhama (*IS*) są markerami tych samych cech sezonowości zjawiska przepływu (Jokiel, Tomalski 2017).

Charakterystyka sezonowych wahań odpływu rzecznego oraz detekcja wieloletnich zmian zachodzących w reżimie wodnym rzek od wielu lat pozostaje w kręgu zainteresowania łódzkiego ośrodka hydrologicznego. Jedną z miar, która znalazła zastosowanie w analizach zmienności sezonowej struktury przepływu rzek jest termin połowy odpływu – *TPO* (Bartnik, Jokiel 2005). Charakterystyka ta wskazuje dzień (licząc od początku roku hydrologicznego), w którym odpływa połowa rocznych zasobów wodnych danej rzeki (patrz rozdz. 4.2.). Za pomocą terminu połowy odpływu dokonano, między innymi, oceny sezonowości przepływu Pilicy w Przedborzu (Bartnik, Jokiel 2005, 2015). Z przeprowadzonych badań jasno wynika, że kumulowane dobowe odpływy osiągają połowę sumy rocznej średnio 13 kwietnia. Warto jednak zauważyć, iż w przekroju wieloletnim wahania terminu połowy odpływu są znaczne – połowa rocznych zasobów wodnych Pilicy w Przedborzu może odpłynąć zarówno w pierwszej dekadzie marca, jak i w ostatniej dekadzie czerwca.

Analiza zmienności terminu połowy odpływu w wieloleciu umożliwia identyfikację ewentualnych zmian zachodzących w reżimie wodnym badanej rzeki. Wczesny termin wyczerpywania się połowy rocznej sumy zasobów wodnych może bowiem świadczyć o zwiększonym udziale zasilania roztopowego, z kolei termin późniejszy wskazuje na dominującą rolę opadów letnich w kształtowaniu reżimu rzeki oraz braku typowych okresów niżówkowych w okresie letnio-jesiennym. Powyższe stwierdzenie znajduje potwierdzenie w opracowaniach, w których w oparciu o termin połowy odpływu przeprowadzono interesującą analizę porównawczą zmienności sezonowej struktury przepływu rzek odwadniających tereny odznaczające się odmiennymi warunkami fizycznogeograficznymi. W badaniach uwzględniono rzeki odwadniające tereny o charakterze wyżynnym i nizinnym w środkowej Polsce, rzeki karpackie oraz niektóre posterunki wodowskazowe zlokalizowane wzdłuż biegu Wisły (Jokiel 2016; Jokiel, Tomalski 2014b, 2016, 2017, 2018). Zmiany terminu połowy odpływu w przebiegu wieloletnim pozwalają zauważyć pewne prawidłowości, charakterystyczne dla rzek reprezentujących dany typ reżimu wodnego.

Niezwykłe interesujące podejście w analizach poziomu sezonowości przepływów rzecznych przedstawili w ostatnim czasie Wałęga i Młyński (Wałęga, Młyński 2016, 2017). Wymienieni Autorzy do badania zmian sezonowego rozmieszczenia przepływów zastosowali wskaźniki Colwella (1974). Warto przy tym zwrócić uwagę, iż wskaźniki te nie były dotychczas wykorzystywane w analizach dotyczących zmienności reżimu polskich rzek, chociaż w innych krajach są stosowane w badaniach sezonowości zjawisk hydrologicznych (m. in. Fernandez, Sayama 2015). Wskaźniki Colwella są miarami sezonowej przewidywalności zjawiska występującego w środowisku przyrodniczym (Chwodhury, Eslamian 2014). Określają one przewidywalność P (z jęz. angielskiego *predictability*) badanego procesu. Wskaźniki przewidywalności składają się z dwóch elementów: stałości C (z jęz. angielskiego *constancy*) oraz przypadkowości M (z jęz. angielskiego *contingency*). Stałość osiąga największą wartość wówczas, kiedy wielkość danego zjawiska (w tym przypadku przepływu rzecznego) jest podobna we wszystkich sezonach w cyklu rocznym. Z kolei, analizowany proces charakteryzuje się tym większą przypadkowością, im wykazuje większe zróżnicowanie i niezależność od poszczególnych sezonów, natomiast jego przebieg zachowuje pewną analogię w następujących po sobie latach. Należy przy tym przyjąć, iż jeżeli przewidywalność danego zjawiska jest w głównej mierze uzależniona od przypadkowości, zaś mniej zależy od stałości, wtedy odznacza się ono regularną sezonowością (Colwell 1974; Wałęga, Młyński 2016, 2017).

W badaniach hydrologicznych polskich rzek wskaźniki Colwella po raz pierwszy wykorzystano do oceny stopnia sezonowości przepływów niskich Kamienicy Nawojowskiej (Wałęga, Młyński 2016). Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że przewidywalność przepływów niskich rozpatrywanej rzeki jest mniejsza od przeciętnej (przeciętny wskaźnik P jest równy 0,43) i w mniejszym stopniu jest uwarunkowana przez przypadkowość ($M=18\%$). Zdecydowana przewaga stałości w kształtowaniu przewidywalności przepływów niskich ($C=82\%$) oznacza, że przepływy niskie Kamienicy Nawojowskiej odznaczają się niewielką regularnością w układzie sezonowym.

W oparciu o wskaźniki Colwella przeprowadzono również analizę sezonowości średnich miesięcznych przepływów trzech rzek z dorzecza górnej Wisły (Wałęga, Młyński 2017). Do badań wyselekcjonowano rzeki, których zlewnie charakteryzują się względnie słabym przekształceniem wskutek działalności człowieka – Kamienica Nawojowska (przekrój Łabowa), San (przekrój Przemyśl) oraz Rudawa (przekrój Balice). Na podstawie przeprowadzonych analiz należy stwierdzić, że średnie miesięczne przepływy rozpatrywanych rzek charakteryzują się przewidywalnością zbliżoną (Rudawa: $P=0,51$) bądź niższą od przeciętnej (Kamienica Nawojowska: $P=0,28$; San: $P=0,38$). Warto zauważyć, że dla zbadanych przekrojów przypadkowość stanowi mniej niż 50% przewidywalności średnich miesięcznych przepływów. Oznacza to, iż podobnie jak w przypadku przepływów niskich, średnie miesięczne przepływy badanych rzek odznaczają się brakiem regularnej sezonowości. Zdaniem Autorów, wskaźniki Colwella mogą być wykorzystywane jako jedna z metod monitoringu reżimu wodnego rzek południowej części Polski (Wałęga, Młyński 2016, 2017). W związku z powyższym, wskaźniki Colwella zostały wykorzystane również w ocenie sezonowości średnich przepływów miesięcznych z wybranych dopływów górnej Wisły (Radecki–Pawlik i in. 2020).

Z uwagi na wzajemne powiązania istniejące w globalnym układzie ocean–atmosfera, zmiany zachodzące w sezonowej strukturze odpływu rzecznoego niejednokrotnie są rozpatrywane w odniesieniu do zmienności charakterystyk klimatycznych. Od wielu lat analiza wieloletnich zmian sezonowości przepływu rzecznoego w perspektywie wahań klimatu, w tym przede wszystkim postępującego globalnego ocieplenia, stanowi jeden z ważniejszych nurtów badawczych w badaniach hydrologicznych (Jokiel 2004; Wrzeński 2013a). Fluktuacje zachodzące w szeregach elementów klimatycznych modyfikują bowiem naturalny cykl hydrologiczny. Zmiany klimatu przejawiają się w głównej mierze poprzez wzrost temperatury powietrza oraz fluktuacje wysokości opadów atmosferycznych, przy czym są one zmienne w czasie i zróżnicowane w poszczególnych regionach świata. W świetle naukowych prognoz

zmiany te mogą jednak skutkować zwiększoną intensywnością oraz dynamiką procesów sterujących globalnym cyklem obiegu wody (Mujere, Eslamian 2014).

Jednym z ważniejszych nurtów badawczych współczesnej hydrologii, szeroko dyskutowanym również w rodzimym środowisku naukowym, stanowią badania dotyczące wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na wieloletnie zmiany oraz zmienność sezonowej struktury odpływu rzecznoego. Oscylacja Północnoatlantycka jest przykładem makroskalowego elementu ogólnej cyrkulacji atmosferycznej, który istotnie kształtuje warunki klimatyczne nad znaczną częścią półkuli północnej, w tym również w Polsce (Marsz 2002; Pociask–Karteczka i in. 2002–2003). Równocześnie, uwarunkowania klimatyczne, a w szczególności sezonowe fluktuacje temperatury powietrza, wysokość i rozkład opadów atmosferycznych oraz wielkość i sezonowe wahania ewapotranspiracji, wywierają bezpośredni wpływ na kształtowanie zasobów wodnych Polski.

W pracach naukowych poświęca się wiele uwagi problematyce wpływu NAO na sezonową zmienność przepływu rzek polskich. Wyniki zawarte w jednej z pierwszych tego typu analiz w Polsce wskazują, że istnieje dość silna i statystycznie istotna korelacja pomiędzy natężeniem Oscylacji Północnoatlantyckiej, wyrażonym zimowymi wskaźnikami NAO, a średnimi miesięcznymi przepływami Warty w kwietniu (Styszyńska 2002). Związek jest tu odwrotnie proporcjonalny – spadek natężenia NAO powoduje wzrost kwietniowych przepływów, i na odwrót. W innych badaniach wielokrotnie dostrzegano podobne związki korelacyjne, np. między natężeniem Oscylacji Północnoatlantyckiej i odpływem rzecznoym w okresie wiosennym. Podczas występowania ujemnej fazy NAO, którą charakteryzują wyjątkowo niskie wskaźniki natężenia Oscylacji, na obszarze Europy środkowej obserwuje się zwykle wzrost częstości i intensywności wysokich wezbrań roztopowych (Bartnik, Jokiel 2012; Pociask–Karteczka i in. 2003; Wrzeński 2010).

Wyniki przeprowadzonych dotychczas badań pokazują również, iż odwrotnie proporcjonalna korelacja zachodzi między wskaźnikami Oscylacji Północnoatlantyckiej a przepływami wybranych rzek w polskiej części Karpat (Pociask–Karteczka i in. 2002–2003; Pociask–Karteczka i in. 2003). Zwraca przy tym uwagę fakt, że określony typ cyrkulacji atmosferycznej w okresie zimowym może istotnie wpływać na wielkość odpływu rzecznoego formującego się na przełomie lata i jesieni. Na przykład, dodatnia faza NAO w okresie zimy często sprzyja występowaniu letnio-jesiennych niżówek w niektórych rzekach karpaccich.

Analiza współzmienności charakterystycznych odpływów jednostkowych z wybranych zlewni Polski oraz indeksu odzwierciedlającego intensywność Oscylacji Północnoatlantyckiej dowodzi, że korelacja pomiędzy tymi szeregami jest odwrotnie proporcjonalna. Nale-

ży jednak zauważyć, że statystycznie istotne zależności korelacyjne występują przede wszystkim między indeksem NAO a wysokimi i średnimi odpływami jednostkowymi ze zlewni położonych w południowej części kraju. Równocześnie, Oscylacja Północnoatlantycka jest zdecydowanie rzadziej istotnie skorelowana z odpływami minimalnymi w naszym kraju (Stanisławczyk 2017). Potwierdzają to również badania dotyczące związku NAO z przepływami wybranych rzek karpackich (Pociask–Karteczka i in. 2002–2003). Warto równocześnie podkreślić, iż nie stwierdzono statystycznie istotnej współzmienności pomiędzy charakterystycznymi odpływami jednostkowymi rzek Polski a natężeniem Oscylacji Północnoatlantyckiej zanotowanym w roku wcześniejszym (Stanisławczyk 2017). Inercja w systemie powiązań jest zatem niska, co zdaje się wynikać bezpośrednio z małej bezwładności czasowej stanu atmosfery, a stosunkowo dużej stanu zasobów wodnych hydrosfery.

Bardzo interesujące i szczegółowe badania dotyczące zmienności przepływu rzek Polski w cyklu rocznym w zależności od wystąpienia danej fazy Oscylacji Północnoatlantyckiej przeprowadził Wrzeński (m. in. 2008; 2010; 2011). Wyniki przeprowadzonych analiz dowodzą, że NAO istotnie oddziałuje na kształtowanie sezonowości odpływu rzecznoego w Polsce. Wrzeński wskazuje bowiem, iż w okresie zimowym (przede wszystkim w styczniu i lutym) przepływy polskich rzek są znacznie niższe w ujemnej fazie NAO niż w fazie dodatniej. Ta wprost proporcjonalna zależność jest szczególnie dobrze widoczna w przypadku przepływów rzek z północno-wschodniej Polski. Z kolei, w miesiącach wiosennych (kwiecień, maj), odpływy większości badanych zlewni są podwyższone w przypadku wystąpienia ujemnej fazy Oscylacji Północnoatlantyckiej. Należy zwrócić uwagę, że NAO najsilniej oddziałuje na wielkość oraz czasowe rozmieszczenie odpływu rzecznoego w Polsce przede wszystkim w chłodnej porze roku, a zatem w miesiącach obejmujących zimę oraz wiosnę. Warto tu mocno podkreślić, iż jest to okres, podczas którego formują się zasoby wodne na większości terytorium Polski.

Na podstawie badań przeprowadzonych przez Wrzeńskiego (2018) należy stwierdzić, że Oscylacja Północnoatlantycka wywiera również wpływ na transformację reżimów hydrologicznych rzek Polski. W zależności od rodzaju aktualnej fazy NAO (pozytywnej lub negatywnej), wpływ ten przybiera różny kierunek i intensywność w poszczególnych typach reżimów polskich rzek.

Przedstawiony powyżej przegląd literatury wskazuje, że zagadnienia zmian sezonowości przepływu rzecznoego oraz problem typologii rzek pod względem stopnia zmienności ich przepływu w cyklu rocznym i jego zmian w czasie są nadal ciekawe, a rozwój tej dziedziny wiąże się między innymi z ciągłym poszukiwaniem nowych procedur i metod badaw-

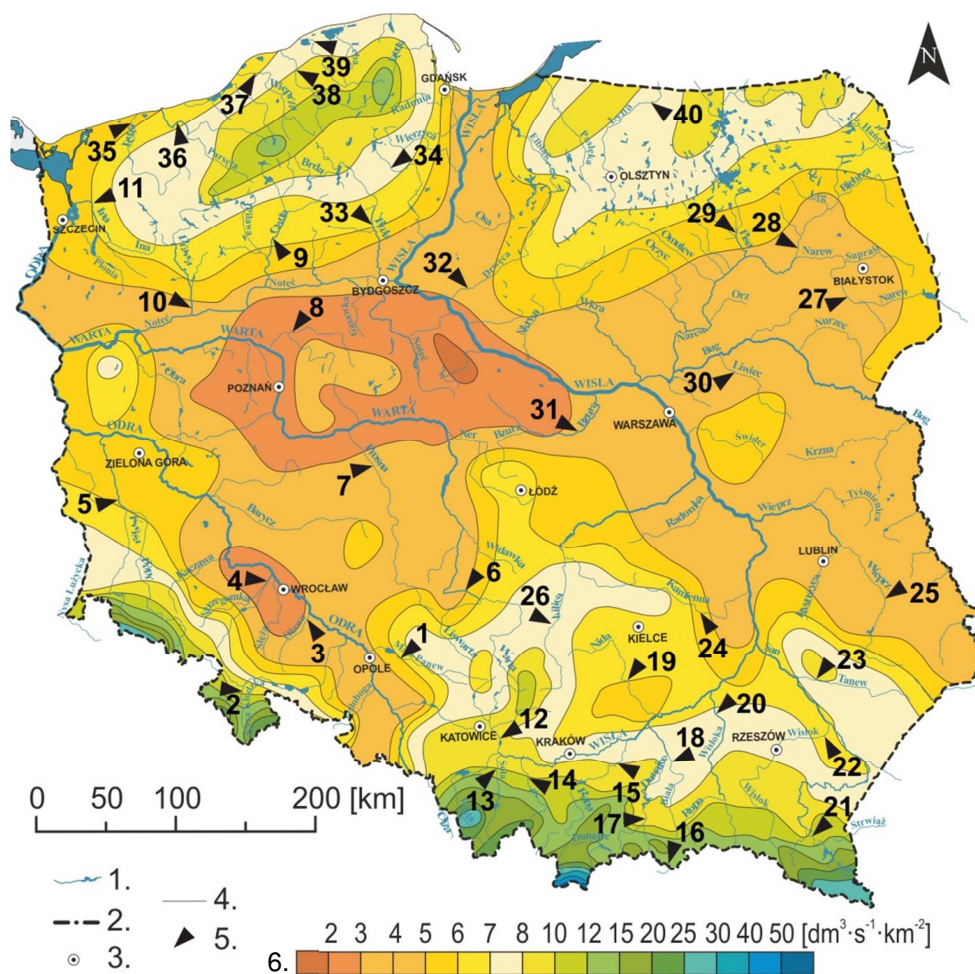
czych. Zmiany zachodzące w wielkości odpływu rzecznoego w Polsce są zagadnieniem ważnym oraz nieustannie aktualnym. Odpływ rzeczny jest bowiem miernikiem wielkości zasobów wodnych danego obszaru i jedną z najważniejszych informacji hydrologicznych, umożliwiających racjonalną gospodarkę wodną w regionie oraz zapewnia prawidłowe funkcjonowanie środowiska, gospodarki i społeczeństw. Wydaje się, że w perspektywie postępującego ocieplenia klimatu, które istotnie wpływa na zmienność elementów hydrometeorologicznych oraz wskutek coraz silniejszej antropopresji na środowisko, nie tylko wodne, zagadnienie wieloletnich zmian i fluktuacji odpływu rzecznoego pozostanie jednym z fundamentalnych i najczęściej podejmowanych problemów współczesnej hydrologii.

3. Materiał badawczy.

3.1. Zakres przestrzenny badań.

Badania nad sezonową zmiennością przepływu rzeczno-ego przeprowadzono w oparciu o wieloletnie serie przepływów dobowych pochodzących z 40 posterunków wodowskazo-owych, które są rozmieszczone na podobnej liczbie rzek Polski (rys. 1). Wybrane wodowskazy zamykają zlewnie autochtoniczne, a materiał hydrometryczny w postaci ciągów przepływów dobowych jest zweryfikowany i wiarygodny. W analizowanym zbiorze, 11 zlewni należy do dorzecza Odry, 24 do dorzecza Wisły, natomiast 5 z nich to zlewnie rzek Przymorza.

Wyboru rzek i zlewni dokonano na podstawie kilku założeń. Po pierwsze przyjęto, że analizowane zlewnie będą rozmieszczone równomiernie na terenie Polski. Stworzyło to możliwość dostrzeżenia ewentualnych prawidłowości przestrzennych w wynikach prowadzonych analiz sezonowości oraz w aspekcie wieloletniej zmienności przepływu rzek. Po drugie, badane rzeki odwadniają obszary o bardzo zróżnicowanych warunkach fizyczno-geograficznych, hydrogeologicznych oraz klimatycznych, co niemal gwarantuje, iż w analizach uwzględniono rzeki, które reprezentują odmienne, a jednocześnie pełne spektrum warunków formowania się reżimu hydrologicznego w Polsce. Wyboru dokonano również tak, aby uwzględnione w badaniach zlewnie były możliwie mocno zróżnicowane pod względem zasobności wodnej. Dobrą miarą tej cechy jest średni odpływ jednostkowy (rys. 1).

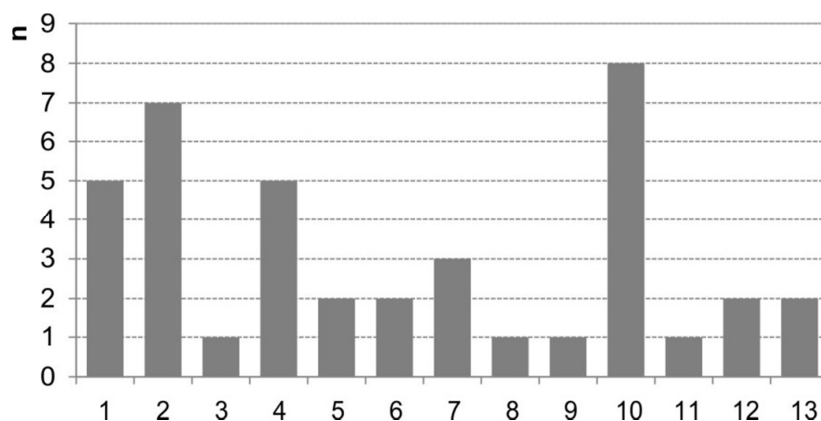


Rys.1. Rozmieszczenie wybranych posterunków wodowskazowych na tle średniego odpływu jednostkowego w Polsce (Michalczyk 2017; zmienione).

Objaśnienia: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – miasta wojewódzkie, 4 – izoreje średniego odpływu jednostkowego [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$], 5 – posterunek wodowskazowy (numeracja zgodna z zał. 1), 6 – średni odpływ jednostkowy [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$].

Charakterystykę fizycznogeograficzną wybranych rzek i ich zlewni oparto o pięć różnych typologii (zał. 1). Dostarczają one odmiennych, ale uzupełniających się informacji dotyczących środowiska geograficznego. Wybrane typologie pozwalają jednocześnie dokonać uproszczonej charakterystyki każdej ze zlewni pod względem: ukształtowania jej powierzchni i budowy geologicznej, reżimu rzecznego a także warunków hydrologicznych, hydrogeologicznych oraz klimatycznych. W przekonaniu Autorki, informacje te są wartościowe i będą wykorzystane do oceny wpływu środowiska geograficznego na zróżnicowanie poziomu sezonowości przepływu i jego charakteru, zarówno w aspekcie wydzielonych sezonów hydrologicznych, jak też wybranych miar sezonowości.

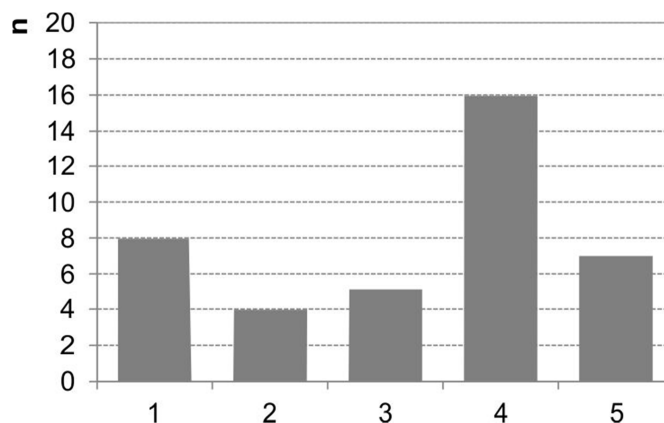
Pierwsza z wziętych pod uwagę typologii identyfikuje zlewnie w aspekcie regionalizacji fizycznogeograficznej Polski zaproponowanej przez Kondrackiego (1998). W jej świetle, wybrane zlewnie są położone w 13 regionach fizycznogeograficznych o randze podprowincji (rys. 2). Jednocześnie, w skali makroregionów zlewnie te reprezentują 26 różnych regionów Polski. Najwięcej wybranych zlewni znajduje się w podprowincji Zewnętrznych Karpat Zachodnich oraz Pojezierzy Południowobałtyckich (odpowiednio 8 i 7 zlewni). W granicach czterech wyróżnionych podprowincji (Niziny Sasko-Łużyckie, Wyżyna Lubelsko-Lwowska, Północne Podkarpacie, Centralne Karpaty Zachodnie) położone są tylko pojedyncze zlewnie.



Rys. 2. Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji fizycznogeograficznej Polski (Kondracki 1998).

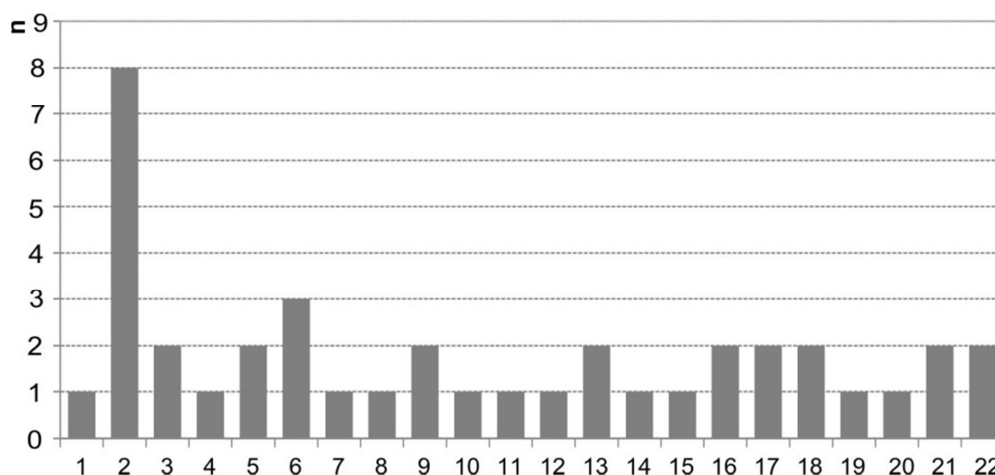
Objaśnienia: n – liczba zlewni w danej kategorii; region fizycznogeograficzny (podprowincje) wg Kondrackiego (1998): 1 – Pobrzeża Południowobałtyckie, 2 – Pojezierza Południowobałtyckie, 3 – Niziny Sasko-Łużyckie, 4 – Niziny Środkowopolskie, 5 – Sudety z Przedgórzem Sudeckim, 6 – Wyżyna Śląsko-Krakowska, 7 – Wyżyna Małopolska, 8 – Wyżyna Lubelsko-Lwowska, 9 – Północne Podkarpacie, 10 – Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, 11 – Centralne Karpaty Zachodnie, 12 – Pojezierza Wschodniobałtyckie, 13 – Wysoczyzny Podlasko-Białoruskie.

Badane zlewnie scharakteryzowano również pod względem reżimu hydrologicznego, biorąc pod uwagę typologię przedstawioną przez Wrzeńskiego (2013a) (rys. 3). Charakterystyczny dla zlewni typ reżimu został określony w oparciu o stosunek procentowego udziału średniego odpływu w miesiącu wiosennym albo letnim do przeciętnego odpływu w roku. Badane rzeki reprezentują wszystkie wyszczególnione przez Wrzeńskiego (2013a) typy reżimów wodnych (zał. 1). Więcej niż co trzecia z wybranych rzek (16) charakteryzuje się typem niwalnym średnio wykształconym. Należy podkreślić, że ten typ reżimu tworzy również obszarową dominantę w skali Polski.



Rys. 3. Struktura badanego zbioru zlewni według typu reżimu hydrologicznego (Wrzesiński 2013a).

Objaśnienia: n – liczba zlewni w danej kategorii; typ reżimu rzecznego wg Wrzesińskiego (2013a): 1 – niwalno-pluwialny, 2 – pluwialno-niwalny, 3 – niwalny silnie wykształcony, 4 – niwalny średnio wykształcony, 5 – niwalny słabo wykształcony.



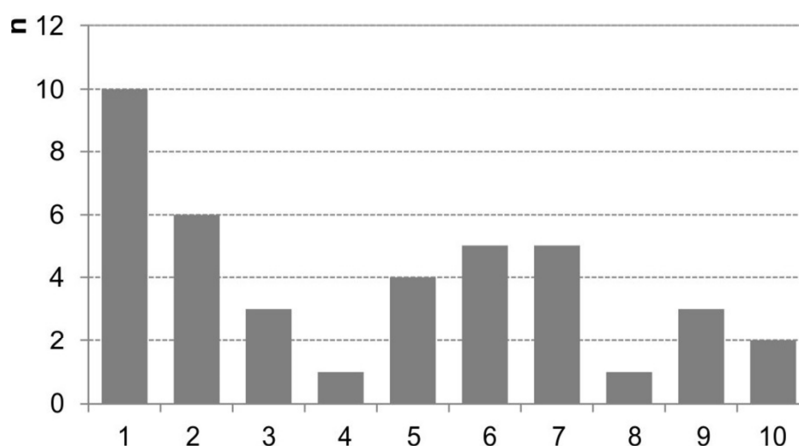
Rys. 4. Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji hydrologiczno-fizjograficznej (Soczyńska 1977).

Objaśnienia: n – liczba zlewni w danej kategorii; region hydrologiczno-fizjograficzny wg Soczyńskiej (1977): 1 – Karpaty, 2 – Karpaty i Podkarpacie, 3 – Sudety, 4 – Północne Podkarpacie, 5 – Wyżyna Krakowsko-Częstochowska i Wyżyna Śląska, 6 – Wyżyna Małopolska, 7 – Wyżyna Lubelska i Rostocze, 8 – Nizina Śląska (część północno-zachodnia), 9 – Nizina Śląska (część południowo-wschodnia), 10 – Nizina Wschodniowielkopolska, 11 – Kotlina Warszawska, 12 – Wysoczyzna Siedlecka, 13 – Kotlina Biebrzy i dolina Narwi, 14 – Pojezierze Wielkopolskie (wschodnie), 15 – Pojezierze Iławsko-Chełmińsko-Dobrzyńskie, 16 – Pojezierze Pomorskie (zachodnie), 17 – Pojezierze Pomorskie (wschodnie), 18 – Pojezierze Drawskie i Pojezierze Kaszubskie, 19 – pojezierze Olsztyńskie, 20 – Pojezierze Wielkich Jezior Mazurskich, 21 – Nizina Szczecińska, 22 – Pobrzeże Słowińskie.

Poszczególne zlewnie przynależą równocześnie do regionów hydrologiczno-fizjograficznych (rys. 4) wydzielonych w Polsce przez Soczyńską (1977). Granice tych regionów Autorka regionalizacji odniosła bezpośrednio do wspomnianego wyżej podziału na jednostki fizycznogeograficzne. Jednocześnie, regionalizacja ta uwzględnia maksimum podobieństwa wewnątrzregionalnego i różnic międzyregionalnych w odniesieniu do: średniego

rocznego odpływu, średniego współczynnika odpływu oraz procentowego udziału zasilania podziemnego rzek. Na podstawie tych założeń Autorka wydzieliła 30 różnych regionów hydrologicznych. W tym przypadku nie udało się zakwalifikować do badanego zbioru obiektów reprezentujących wszystkie regiony hydrologiczne. Badane zlewnie należą tylko do 22 regionów. Zdecydowanie najwięcej analizowanych obiektów (8) znajduje się w granicach regionu Karpat i Podkarpacia (zał. 1).

Badane zlewnie są także zróżnicowane pod względem typu hydrogeologicznego słodkich wód podziemnych (Paczyński, Sadurski 2007) (rys. 5). Granice jednostek hydrogeologicznych wyznaczonych na podstawie wymienionej wyżej typologii odnoszą się do podziału zastosowanego przy wykonaniu Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 oraz do układu jednolitych części wód podziemnych w kraju (JCWPd). Regionalizacja hydrogeologiczna słodkich wód podziemnych zakłada podział obszaru Polski na trzy prowincje (Wisły, Odry oraz wybrzeża i pobraża Bałtyku), które dzielą się kolejno na poszczególne regiony i subregiony. Badane zlewnie położone są w obrębie dziesięciu regionów. Najwięcej zlewni (10) należy do regionu górnej Wisły (zał. 1).

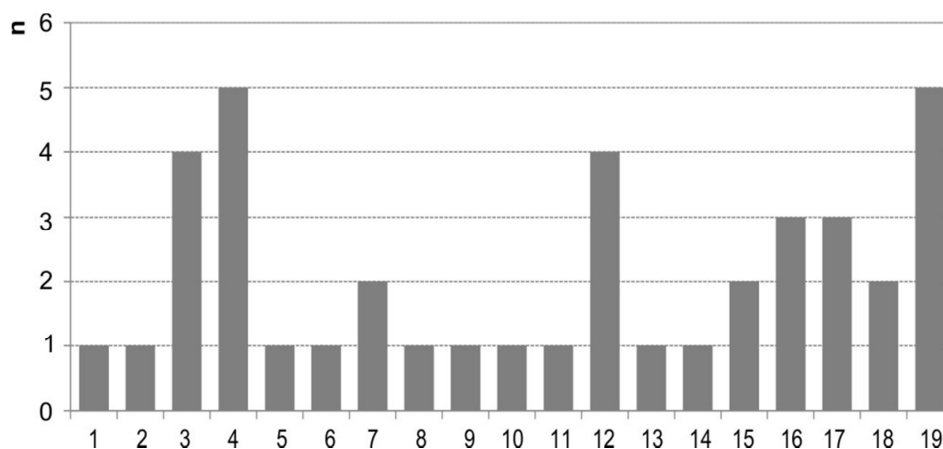


Rys. 5. Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji słodkich wód podziemnych (Paczyński, Sadurski 2007).

Objaśnienia: n – liczba zlewni w danej kategorii; region hydrogeologiczny słodkich wód podziemnych wg Paczyńskiego i Sadurskiego (2007): 1 – górnej Wisły, 2 – środkowej Wisły, 3 – dolnej Wisły, 4 – Bugu, 5 – Narwi, Pregoi i Narwi, 6 – środkowej Odry, 7 – Warty, 8 – dolnej Odry i Zalewu Szczecińskiego, 9 – Zachodniopomorski, 10 – Wschodniopomorski.

Z punktu widzenia warunków klimatycznych i opracowanego przez Wosia (1994) podziału obszaru Polski na regiony klimatyczne, badany zbiór zlewni jest również zróżnicowany (zał. 1). Wspomniany wyżej Autor wyodrębnił 28 obszarów, które odznaczają się odmienny-

mi warunkami klimatycznymi, co umożliwia traktowanie ich jako oddzielne regiony klimatyczne.

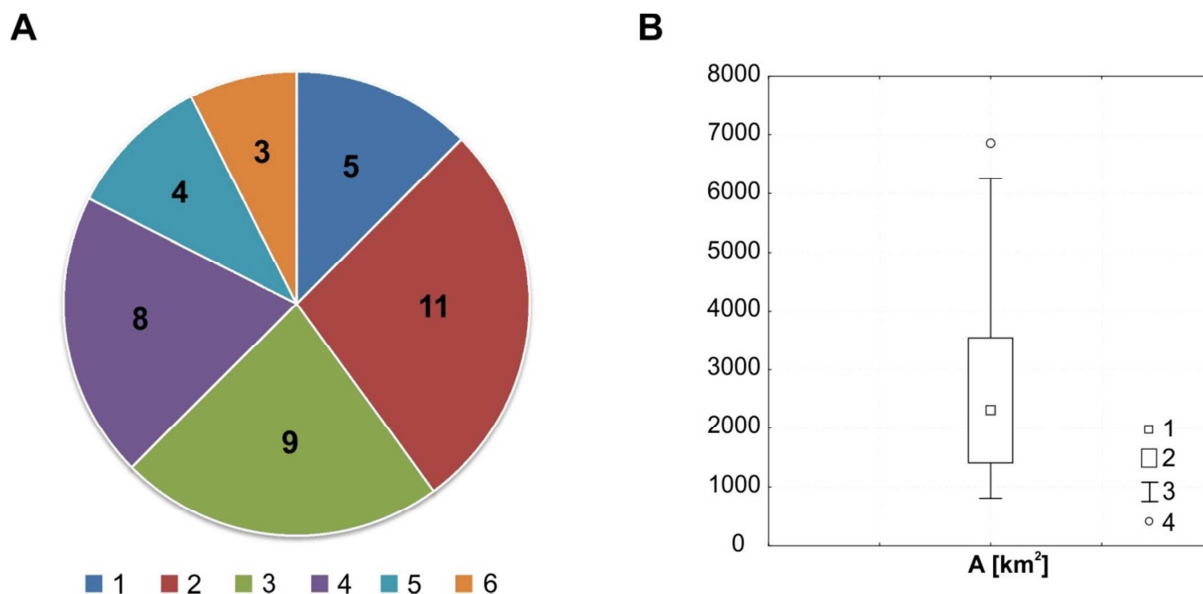


Rys. 6. Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji klimatycznej (Woś 1994).

Objaśnienia: n – liczba zlewni w danej kategorii; region klimatyczny wg Wosia (1994): 1 – Północnomazurski, 2 – Zachodniopomorski, 3 – Środkowopomorski, 4 – Wschodniopomorski, 5 – Zachodniomazurski, 6 – Środkowomazurski, 7 – Mazursko-Podlaski, 8 – Środkowowielkopolski, 9 – Południowowielkopolski, 10 – Środkowopolski, 11 – Podlasko-Poleski, 12 – Zachodniomałopolski, 13 – Wschodniomałopolski, 14 – Dolnośląski Zachodni, 15 – Dolnośląski Środkowy, 16 – Śląsko-Krakowski, 17 – Tarnowsko-Rzeszowski, 18 – Zamojsko-Przemyski, 19 – Obszarów górskich.

Charakterystykę każdego regionu klimatycznego przeprowadzono na podstawie wskaźnika przeciętnej rocznej liczby dni z danymi typami pogody (uwzględniono 66 jej typów). Z uwagi na znaczne zróżnicowanie przestrzenne warunków klimatycznych na terenach górskich zostały tam wydzielone obszary poza omawianą typologią regionalną. Badane w pracy zlewnie są położone w obrębie 18 regionów klimatycznych (rys. 6). Pięć zlewni z wybranego zbioru znajduje się w granicach wyróżnionych w typologii klimatycznej obszarów o klimatach górskich.

Powierzchnie badanych zlewni zawierają się w granicach między 807 km² (Łupawa w Smołdzinie) a 6 929 km² (Biebrza w Burzynie) (zał. 1). Wszystkie rozpatrywane obiekty są zatem zlewniami o średniej wielkości. Więcej niż co czwarta zlewnia z badanego zbioru (11) ma powierzchnię pomiędzy 1001 km² a 2000 km² (rys. 7A). Przeciętna (mediana) powierzchnia wszystkich uwzględnionych w opracowaniu zlewni wynosi blisko 2 305 km², natomiast połowa z nich zajmuje obszar pomiędzy 1 405 km² a 3 550 km² (rys. 7B).



Rys. 7. Liczba badanych zlewni w klasach powierzchni (A) i zróżnicowanie ich powierzchni (B).

Objaśnienia: A – klasy powierzchni zlewni [km²]: 1 – poniżej 1000, 2 – 1001-2000, 3 – 2001-3000, 4 – 3001-4000, 5 – 4001-5000, 6 – powyżej 5001; B – zróżnicowanie powierzchni zlewni (A [km²]): 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające.

Warto również podkreślić, iż sumaryczna powierzchnia badanych zlewni obejmuje blisko 33% terytorium Polski. Z punktu widzenia liczby zlewni i ich łącznej powierzchni, zbadaną próbę obiektów można zatem uznać za wystarczającą (na poziomie ufności równym 95%), aby prowadzone na jej podstawie badania sezonowej zmienności przepływu wybranych rzek Polski były reprezentatywne dla obszaru całego kraju (Boczarow 1976).

3.2. Zakres czasowy badań.

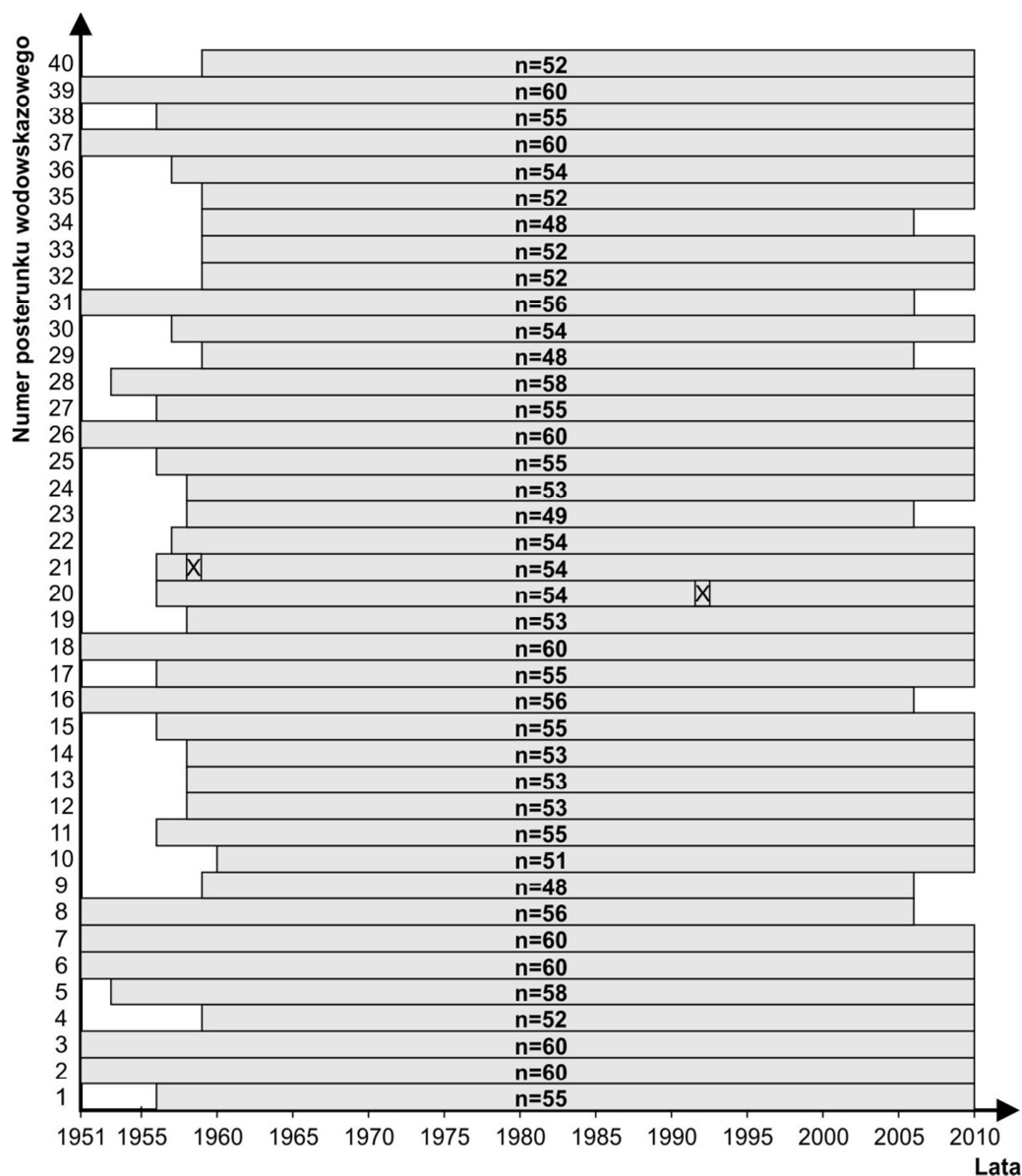
W opinii autorki, detekcja zmian i zmienności wieloletniej sezonowego rozmieszczenia odpływu wymaga wykorzystania serii pomiarowych, które obejmują szeroki zakres czasowy. Zasoby wodne polskich rzek charakteryzują się bowiem dużą zmiennością w czasie. Dlatego długość każdej z wykorzystanych w prezentowanych niżej badaniach serii pomiarowej wynosi w przybliżeniu 50 lat i rozpoczyna się w drugiej połowie ubiegłego stulecia, kończy natomiast w pierwszej dekadzie XXI wieku.

Na podstawie badań dotyczących wieloletniej zmienności zasobów wód płynących w Polsce należy stwierdzić, iż na przestrzeni XX wieku nie zaznaczył się istotny statystycznie

trend w odpływie rzeczny (Fal, Bogdanowicz 2002). Jednocześnie, w literaturze zwraca się uwagę na fakt, że w okresie 1901–2010 przepływ rzek Polski charakteryzuje się pewną quasi-cyklicznością (Gutry–Korycka i in. 2014). Przejawia się ona w występowaniu naprzemiennie, stosunkowo krótkich sekwencji lat mokrych oraz wyraźnie dłuższych okresów odznaczających się dużym deficytem odpływu (Jokiel 2004). Lata 1951–2000, a te stanowiły podstawę prezentowanych niżej analiz, odznaczały się w Polsce średnim odpływem rzeczny nieco większym od przeciętnego dla całego XX wieku (Fal, Bogdanowicz 2002). Jednocześnie, roczne zasoby wód płynących charakteryzowały się w tym okresie dość znaczną zmiennością sięgającą 21% (Jokiel 2004). Przepływ polskich rzek był również zróżnicowany w poszczególnych dekadach tego wiekolecia (Fal 1993; Fal i in. 1997). W porównaniu do średniej wieloletniej, najmniejszym odpływem charakteryzowała się dekada lat 50. (55 mld m³), co odpowiada niespełna 90% średniej z wielolecia). Okres 1950–1959 odznaczał się równocześnie najniższymi rocznymi sumami opadów atmosferycznych w drugiej połowie XX wieku. Wysokość opadu dla tej dekady stanowiła 93,1% przeciętnego opadu dla stulecia 1880–1980 (Jokiel 2004).

Zdecydowanie największymi zasobami wodnymi polskie rzeki charakteryzowały się natomiast w latach 70. XX wieku (70,5 mld m³). Stanowiły one 115% średniej wieloletniej (Fal 1993; Fal i in. 1997). Natomiast odpływ rzeczny w latach 1961–70 był zbliżony do przeciętnego. Także zasoby wodne w dekadzie lat 80. nie różniły się znacząco od średniej wieloletniej, chociaż okres ten jest uznawany w Polsce za posuszny (Stachy 2011; Jokiel, Stanisławczyk 2012). Zasoby wód płynących były jednak bardzo zróżnicowane w poszczególnych latach tego dziesięciolecia. Duży wpływ na wzrost średniego odpływu rzeczny dla całej dekady miały lata 1981–1982. Charakteryzowały się one bardzo wysokimi sumami opadów atmosferycznych i odpływów rzecznych, co przełożyło się na wzrost odpływu w całym dziesięcioleciu. Począwszy od połowy 1982 roku, odpływ polskich rzek zmniejszał się w kolejnych latach dekady 1981–1990, by w ostatnim roku tego dziesięciolecia stanowić niecałe 71% wartości średniej z wielolecia.

Badania przeprowadzone nad rocznymi odpływami ekstremalnymi polskich rzek w przekroju wieloletnim dowodzą natomiast, iż przełom XX i XXI wieku był okresem swojego „niepokoj hydrologicznego” (Jokiel, Stanisławczyk 2012). Lata 1994–2005 charakteryzowały się bowiem zwiększoną częstością bardzo wysokich rocznych odpływów rzecznych w Polsce.



Rys. 8. Zakres czasowy badanych szeregów przepływów w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: n – liczba lat w serii pomiarowej; 1, 2, 3, 4 (...) – numer posterunku wodowskazowego zgodnie z zał. 1; X – brak pomiarów.

Dane hydrologiczne, które posłużyły do realizacji celów badawczych przedstawionej dysertacji obejmują wielolecie 1951–2010. Długość serii pomiarowych z poszczególnych posterunków wodowskazowych jest jednak zróżnicowana (rys. 8). Najkrótsze szeregi dobowych przepływów liczą 48 lat (Gwda po wodowskaz Ptusza, Pisa po wodowskaz Ptaki, Wda po wodowskaz Czarna Woda). Serie najdłuższe obejmują natomiast całe uwzględnione w badaniach wielolecie. W analizowanym zbiorze, blisko ¼ posterunków wodowskazowych (9) posiada pełne, 60-letnie i nieprzerwane serie pomiarowe. Zdecydowanie najwięcej, bo ponad połowa uwzględnionych szeregów czasowych (25) rozpoczyna się w drugiej poł-

wie lat 50. XX wieku, kończy natomiast w ostatnim roku badanego okresu. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w przypadku dwóch posterunków wodowskazowych występują braki w seriach liczące jeden rok. Sytuacja ta dotyczy Sanu po wodowskaz Lesko i 1959 roku oraz Wisłoki po wodowskaz Mielec i roku 1992. Brak ciągłości szeregów wynika z faktu, iż w przypadku obu wymienionych posterunków nie były wówczas prowadzone pomiary natężenia przepływu rzeczno-

Źródłem danych hydrometrycznych wykorzystanych w prezentowanej rozprawie były, opublikowane w formie papierowej „Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych”, wydawane oddzielnie dla dorzeczy Odry oraz Wisły (okres 1951–1983). Informacje dla kolejnych lat pozyskano zaś w wersji elektronicznej z bazy danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Podstawowym materiałem badawczym były wieloletnie serie codziennych przepływów, na bazie których uzyskiwano wartości charakterystyczne oraz różnorodne wskaźniki, współczynniki oraz miary zasobów wodnych i ich sezonowości.

4. Metody badań.

4.1. Miary i formuły statystyczne zastosowane w pracy.

Realizacja celów badawczych podjętych w prezentowanej rozprawie doktorskiej wymaga identyfikacji różnych właściwości rozkładów statystycznych analizowanych szeregów zmiennych. Do podstawowych charakterystyk można zaliczyć miary tendencji centralnej, w tym średnią arytmetyczną. Wzór na obliczenie prostej średniej arytmetycznej ma postać (Norcliffe 1986):

$$X_{\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

gdzie: X_{sr} – średnia arytmetyczna badanej zmiennej; X_i – wartość i -tej zmiennej w badanej próbie; n – liczebność badanej próby.

Kolejną wykorzystaną w badaniach miarę położenia (tendencji centralnej) stanowi wartość środkowa (mediana). Podstawowa własność tej miary polega na tym, iż dzieli zbiór elementów na dwie równe części, w których odpowiednio jedna połowa zmiennych jest mniejsza, a druga połowa większa od mediany. W celu obliczenia wartości środkowej (mediany) należy utworzyć uporządkowany szereg zmiennych (np. ciąg malejący). Pozycja wartości środkowej (mediany) określana jest wówczas zgodnie z formułą (Norcliffe 1986; Tomalski, Tomaszewski 2015):

$$Me_x = \frac{n}{2} + \frac{1}{2} \quad (2)$$

gdzie: Me_x – mediana w badanej próbie; n – liczebność badanej próby.

Jeżeli liczba obserwacji jest nieparzysta, medianę stanowi środkowy element badanego ciągu. W przypadku szeregu składającego się natomiast z parzystej liczby zmiennych, medianę oblicza się wówczas jako średnią arytmetyczną z dwóch środkowych elementów tego szeregu.

Dokładniejszą charakterystykę rozkładów analizowanych zmiennych umożliwia równoczesne zastosowanie miar rozrzutu (dyspersji), które pozwalają ocenić stopień zgrupowania elementów wokół wartości przeciętnej w badanej próbie. Jedną z najczęściej stosowanych miar dyspersji stanowi rozstęp (amplituda), będący różnicą pomiędzy ekstremalnymi wartościami zmiennej w analizowanym zbiorze (Norcliffe 1986; Tomalski, Tomaszewski 2015):

$$\text{Roz}_x = X_{\max} - X_{\min} \quad (3)$$

gdzie: Roz_x – rozstęp w badanym zbiorze; X_{\max} – maksymalna wartość zmiennej w badanym zbiorze; X_{\min} – minimalna wartość zmiennej w badanym zbiorze.

Kolejną zastosowaną w pracy miarą dyspersji jest odchylenie standardowe. Charakterystyka ta jest wielkością wyrażoną w tych samych jednostkach co analizowana zmienna i przyjmuje wartości z zakresu $(0, \infty)$. Wraz ze wzrostem odchylenia standardowego rośnie stopień dyspersji wartości zmiennych w badanej próbie. Odchylenie standardowe obliczane jest według wzoru:

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{sr}})^2}{n-1}} \quad (4)$$

gdzie: δ_x – odchylenie standardowe w badanej próbie; X_i – wartość i -tej zmiennej w badanej próbie; X_{sr} – średnia wartość zmiennej w badanej próbie; n – liczebność badanej próby.

W analizach porównawczych, kiedy dokonuje się oceny podobieństwa i różnic między rozkładami zmiennych wyrażonych w różnych jednostkach, bardziej zasadne wydaje się jednak stosowanie miar względnych. W prezentowanej rozprawie dynamika w różnych zbiorach analizowanych zmiennych została scharakteryzowana za pomocą współczynnika zmienności Pearsona. Podobnie jak w przypadku odchylenia standardowego, wraz ze wzrostem tego współczynnika wzrasta stopień rozproszenia danej cechy w analizowanej próbie. Współczynnik zmienności może być wyrażony w procentach, wówczas jego formuła obliczeniowa ma postać:

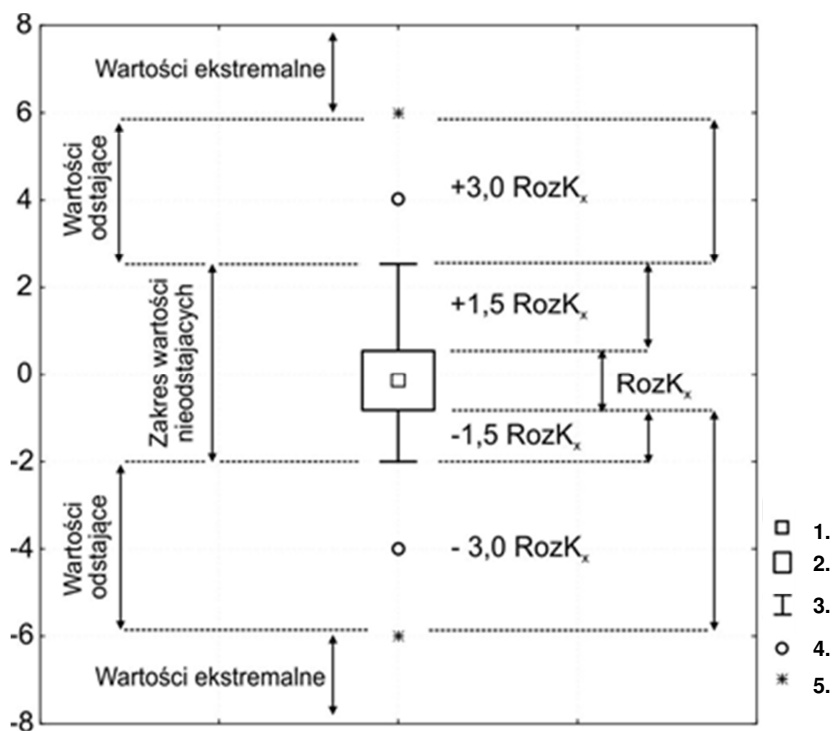
$$\text{CV}_x = \frac{\delta_x}{X_{\text{sr}}} \cdot 100 \quad (5)$$

gdzie: CV_x – współczynnik zmienności w badanej próbie [%]; δ_x – odchylenie standardowe w badanej próbie; $X_{\bar{s}r}$ – średnia wartość zmiennej w badanej próbie.

W analizach stopnia dyspersji różnych zmiennych hydrologicznych w prezentowanej rozprawie wykorzystano również rozstęp międzykwartyłowy. Charakterystyka ta może zostać obliczona po uprzednim wyznaczeniu kwartyli rozkładu danej próby (Norcliffe 1986). Kwartyle należą do miar pozycyjnych, których podstawową cechą jest podział elementów uporządkowanego szeregu (najczęściej niemalejącego) na cztery równe części. Wyróżnia się odpowiednio: kwartył pierwszy (25% elementów badanej próby jest mniejszych, a 75% większych od niego), kwartył drugi (mediana) oraz kwartył trzeci (75% elementów badanej próby jest mniejszych, a 25% większych od niego) (StatSoft 2006). Jeżeli znane są kwartyle rozkładu danej próby, wówczas formuła obliczeniowa rozstępu międzykwartyłowego ma postać (Norcliffe 1986; Tomalski, Tomaszewski 2015):

$$\text{Roz}K_x = X_{K3} - X_{K1} \quad (6)$$

gdzie: $\text{Roz}K_x$ – rozstęp międzykwartyłowy w badanej próbie; X_{K3} – wartość trzeciego kwartyla w badanej próbie; X_{K1} – wartość pierwszego kwartyla w badanej próbie.



Rys. 9. Schemat konstrukcji wykresu typu box&whisker.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne.

Źródło: StatSoft 2006, zmienione.

Znajomość kwartyli rozkładu danego zbioru zmiennych umożliwia prezentację wyników przeprowadzonych badań w postaci wykresu typu *box&whisker* (in. wykres ramka-wąsy, pudełko z wąsami) (StatSoft 2006; Tomalski, Tomaszewski 2015). Na omawianym rodzaju wykresu wysokość „pudełka” odzwierciedla rozstęp między pierwszym i trzecim kwartylem (rozstęp międzykwartylowy), w obrębie którego zostaje zaznaczone położenie mediany. Jednocześnie, wspomniane „wąsy” obrazują tutaj zakres wartości nieodstających, powyżej lub poniżej których mogą znajdować się dodatkowo wartości odstające i ekstremalne w badanej próbie (por. rys. 9). Na podstawie długości „wąsów” oraz położenia mediany w obrębie „pudełka” możliwa jest ocena stopnia dyspersji zmiennych w analizowanym zbiorze oraz identyfikacja ewentualnej asymetrii rozkładu danej próby.

Jeden z najważniejszych problemów badawczych rozpatrywanych w analizach hydrologicznych stanowi identyfikacja wzajemnych powiązań i korelacji zachodzących pomiędzy różnorodnymi zjawiskami. W prezentowanej rozprawie podjęto próbę zbadania współzmienności między różnymi szeregami zmiennych, charakteryzujących odmienne procesy lub cechy hydrologiczne. Siła tej współzmienności została wyrażona w postaci współczynnika korelacji liniowej Pearsona, obliczanego według wzoru (Greń 1972; Norcliffe 1986; Tomalski, Tomaszewski 2015) :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - X_{sr})(Y_i - Y_{sr})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{sr})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{sr})^2}} \quad (7)$$

gdzie: r – współczynnik korelacji liniowej Pearsona; X_i – zmienna X w terminie i ; Y_i – zmienna Y w terminie i ; X_{sr} – średnia wartość zmiennej X ; Y_{sr} – średnia wartość zmiennej Y .

Współczynnik korelacji liniowej zawiera się w zakresie od -1 do 1. Skrajne wartości tego przedziału obrazują korelację pełną (związek jest funkcyjny), natomiast $r=0$ świadczy o braku związku korelacyjnego między badanymi zmiennymi. Warto zwrócić uwagę, że nie bez znaczenia pozostaje tutaj znak współczynnika korelacji, który określa kierunek wykrytej zależności. Dodatni współczynnik dowodzi bowiem istnienia wprost proporcjonalnego związku liniowego (równoczesny spadek lub wzrost wartości obu analizowanych zmiennych). Ujemny współczynnik świadczy natomiast, że zależność pomiędzy badanymi zmiennymi jest odwrotnie proporcjonalna – kiedy wartość jednej zmiennej maleje, to druga rośnie, i odwrotnie. Należy również podkreślić, iż współczynnik korelacji obrazuje jedynie poziom współzmienności zmiennych w badanych szeregach. Współczynnik ten nie dowodzi

jednak, że pomiędzy elementami analizowanych szeregów istnieje związek przyczynowo-skutkowy (Gregory 1976; Tomalski, Tomaszewski 2015).

Statystyczna istotność obliczonych współczynników korelacji została zweryfikowana w oparciu o statystykę testową t–Studenta (na poziomie istotności $\alpha=0,05$), której formuła obliczeniowa ma postać (Greń 1972; Gregory 1976):

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (8)$$

gdzie: t – statystyka testowa t–Studenta; r – współczynnik korelacji liniowej Pearsona; n – liczebność próby.

W badaniach stopnia współzmienności zjawisk przyrodniczych niejednokrotnie analizowana jest również wielkość współczynnika determinacji, oznaczanego najczęściej symbolem R^2 (StatSoft 2006). Współczynnik ten oblicza się podnosząc wielkość współczynnika korelacji Pearsona do kwadratu. Miara ta informuje wówczas, jaka część (wyrażona w procentach) zmiennej objaśnianej (zależnej) jest determinowana zmiennością zmiennej objaśniającej (niezależnej) (Mitosek 2009; Tomalski, Tomaszewski 2015).

Ocenę współzmienności (zależności) zachodzącej pomiędzy różnymi zmiennymi można przeprowadzić w oparciu o analizę funkcji regresji (Greń 1968). Regresja umożliwia przedstawienie związku dwóch zmiennych w formie funkcji matematycznej, której ogólna formuła ma postać (Greń 1968; Norcliffe 1986; Mitosek 2009):

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot X_1 \quad (9)$$

gdzie: \hat{y} – wartość zmiennej objaśnianej wyznaczona na podstawie równania regresji; b_0 – współczynnik przesunięcia prostej; b_1 – współczynnik kierunkowy prostej; X_1 – zmienna objaśniająca.

W prezentowanej rozprawie za pomocą funkcji regresji przedstawiono charakterystykę zmian zachodzących w szeregach zmiennych czasowych, tzn. zmienną objaśniającą w przeprowadzanych analizach był przeważnie czas. Obliczone równania regresji obrazowały zatem zmiany o charakterze trendu występującego w badanych ciągach pomiarowych (Tomalski, Tomaszewski 2015). Wyznaczoną funkcję można wówczas zastosować w badaniach prognozy, gdyż trend odzwierciedla długookresową tendencję występującą w szeregach zmiennych, wybiegającą poza okres obserwacji (Mitosek 2009). Wnioski winny być jednak ostrożne, bowiem równanie trendu jest statystycznie istotne tylko w przedziałach zmienności obu zmiennych.

Parametry równania funkcji regresji zostały obliczone według metody najmniejszych kwadratów (Greń 1968; Mitosek 2009; Tomalski, Tomaszewski 2015). Podstawowe założenie tej metody zakłada takie oszacowanie współczynników równania prostej, aby suma kwadratów odległości elementów danej próby była możliwie jak najmniejsza od wyznaczonej linii regresji. Parametry równania funkcji regresji oblicza się według wzoru:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2} \quad (10)$$

$$b_0 = Y_{\text{sr}} - b_1 \cdot X_{\text{sr}} \quad (11)$$

gdzie: b_1 – współczynnik kierunkowy prostej; b_0 – współczynnik przesunięcia prostej; n – liczebność badanej próby; X_i – zmienna X w terminie i ; Y_i – zmienna Y w terminie i ; X_{sr} – średnia wartość zmiennej X ; Y_{sr} – średnia wartość zmiennej Y .

Ocenę statystycznej istotności trendów występujących w szeregach czasowych przeprowadzono w oparciu o nieparametryczny test Manna–Kendalla (na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Test ten jest dość powszechnie stosowany w wykrywaniu istotnych tendencji zachodzących w wieloletnich ciągach zmiennych hydrologicznych i meteorologicznych (np. Wrześniński 2009b; Rutkowska, Ptak 2012; Radecki–Pawlik i in. 2020), a jego statystykę oblicza się zgodnie ze wzorem (Baran–Gurgul, Raczyński 2017; Ali i in. 2019):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (12)$$

gdzie: S – statystyka S (inaczej tzw. suma Kendalla); X_i – wartość zmiennej objaśniającej (niezależnej); X_j – wartość zmiennej objaśnianej.

Przy czym:

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{gdy } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{gdy } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (13)$$

4.2. Procedury i miary oceny sezonowości odpływu.

Jedną z miar, która pozwala scharakteryzować zmienność odpływu rzecznego w cyklu rocznym jest termin połowy odpływu (*TPO*) zaproponowany przez Bartnika i Jokiel (2005). Warto nadmienić, iż tego samego roku podobną charakterystykę przedstawili również McCabe oraz Clark (*central of mass data; CMD*) i wykorzystali ją w analizach zmienności wiosennego odpływu roztopowego rzek w zachodniej części Stanów Zjednoczonych (McCabe, Clark 2005). Pierwszy raz termin połowy odpływu w rzekach Polski został wykorzystany w badaniach dotyczących zmian reżimu hydrologicznego Pilicy po Przedbórz w wieloleciu. Termin połowy odpływu (*TPO*) wskazuje dzień, w którym kumulowana suma odpływów (przepływów) dobowych badanej rzeki osiąga połowę wielkości jej odpływu (przepływu) w ciągu danego roku. Zastosowanie omawianej charakterystyki pozwala zatem określić, w którym dniu odpływała połowa rocznych zasobów wodnych badanej rzeki w poszczególnych latach wielolecia. Termin połowy odpływu umożliwia tym samym identyfikację zmian zachodzących w reżimie hydrologicznym danej rzeki w przekroju wieloletnim.

Wzór na obliczenie terminu połowy odpływu ma postać (Bartnik, Jokiel 2005; Tomalski, Tomaszewski 2015):

$$TPO_j = \{d_i : V_i = V_{(365)_j}/2\} \quad (14)$$

gdzie: TPO_j – termin połowy odpływu w roku j ; d_i – dzień, w którym kumulowane przepływy (odpływy) dobowe osiągają połowę sumy w danym roku hydrologicznym; V_i – suma dobowych przepływów (odpływów) kumulowana od 1 listopada do d_i [$m^3 \cdot s^{-1}$]; $V_{(365)_j}$ – roczna suma przepływu (odpływu) [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Warto zwrócić uwagę, iż ze względu na swoją konstrukcję, termin połowy odpływu jest obliczany dla pojedynczego roku hydrologicznego. Oznacza to, że w analizach czasowych każdy rok hydrologiczny jest rozpatrywany jako oddzielny odcinek na osi czasu, a wielkość przepływu rzecznego jest od siebie niezależna w kolejnych latach – nie uwzględnia się zatem ewentualnej inercji odpływu. Z tego względu, *TPO* winien być stosowany i analizowany równocześnie z innymi charakterystykami opisującymi sezonowość zjawisk hydrologicznych (Bartnik, Jokiel 2005).

Sezonową zmienność odpływu rzecznego można również scharakteryzować w oparciu o miary skonstruowane przez Markhama (1970): indeks sezonowości i wskaźnik pory koncentracji. Pierwotnie charakterystyki te posłużyły do oceny stopnia nierównomierności opadów atmosferycznych w cyklu rocznym na terenie Stanów Zjednoczonych. Procedurę obli-

czeniu obu charakterystyk, dla poszczególnych lat wielolecia, przeprowadzono w prezentowanej rozprawie w oparciu o obliczone w toku analiz średnie miesięczne przepływy wybranych rzek Polski (po dokonaniu stosownych przekształceń, obliczenia omawianych miar można wykonać również na podstawie danych dobowych).

W prowadzonych obliczeniach przyjmuje się, że wartość badanej zmiennej (tutaj jest to średni przepływ) w danym miesiącu j jest proporcjonalna do długości wektora r_{sj} , a kąt nachylenia tego wektora odzwierciedla umiejscowienie środka miesiąca j w odniesieniu do początku roku hydrologicznego – 1 listopada (Tomalski, Tomaszewski 2015):

$$\alpha_{sj} = \frac{360 \cdot L_s}{365} \quad (15)$$

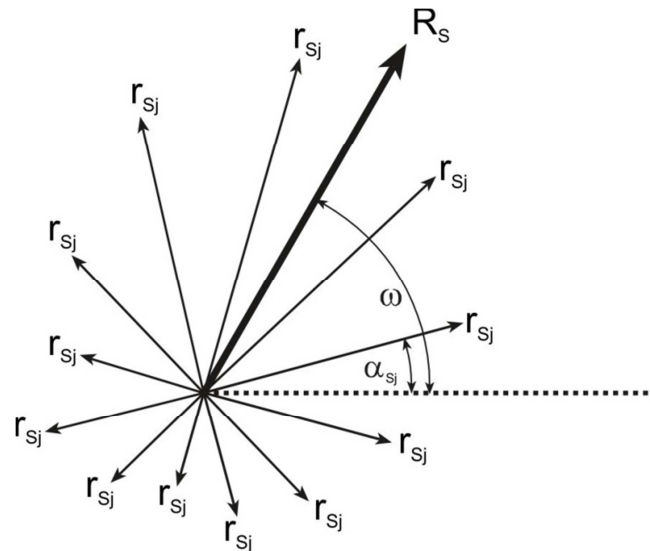
gdzie: α_{sj} – kąt nachylenia wektora r_{sj} w odniesieniu do wartości średnich przepływów miesięcznych [$^\circ$]; L_s – liczba dni pomiędzy 1 listopada a środkiem określonego miesiąca.

Na podstawie obliczeń wykonanych w oparciu o wartości miesięczne, dla każdego roku otrzymujemy dwanaście wektorów (rys. 10). Następnie, należy określić dla nich wektor wypadkowy R_s , stanowiący iloczyn dwunastu wektorów cząstkowych. Wektor ten charakteryzuje się modułem $|R_s|$ oraz kierunkiem ω . Indeks sezonowości stanowi wówczas iloraz $|R_s|$ i sumy długości modułów dwunastu wektorów $|r_{sj}|$. Formuła obliczeniowa indeksu sezonowości ma postać (Tomalski, Tomaszewski 2015; Jokieli, Stanisławczyk 2016):

$$IS_i = \frac{|R_s|}{\sum_{j=1}^{12} |r_{sj}|} \cdot 100\% \quad (16)$$

gdzie: IS_i – indeks sezonowości dla roku i [%]; $|R_s|$ – moduł długości wektora wypadkowego z cząstkowych wektorów r_{sj} ; $|r_{sj}|$ – moduł długości wektora odzwierciedlającego średni przepływ w j -tym miesiącu w roku i .

Wartości indeksu sezonowości zawierają się w granicach od 0 do 100%. Wraz ze spadkiem indeksu maleje poziom sezonowości odpływu w cyklu rocznym. Należy jednak podkreślić, iż minimalna wartość indeksu ($IS_i=0\%$) może mieć miejsce w dwóch zupełnie różnych sytuacjach. W pierwszym przypadku, gdy odpływ jest równomiernie rozłożony w każdym miesiącu (co jest możliwe, gdy długości dwunastu wektorów cząstkowych są równe) bądź wtedy, kiedy odpływ pojawia się jedynie w dwu przeciwstawnych miesiącach (miesiące te dzieli połowa roku, np. marzec i wrzesień).



Rys. 10. Schemat konstrukcji miar sezonowości Markhama.

Objaśnienia: R_s – długość wektora wypadkowego z wektorów r_{sj} ; r_{sj} – wektor odpowiadający średniej wartości cechy w j -tym miesiącu roku hydrologicznego; α_{sj} – kąt nachylenia wektora r_{sj} dla wartości średnich miesięcznych; ω – kąt nachylenia wektora wypadkowego R_s .

Źródło: Tomaszewski 2001; zmienione.

Ocenę stopnia sezonowości odpływu przeprowadzono również w oparciu o wskaźnik pory koncentracji odpływu, czyli kolejną z charakterystyk opracowaną przez Markhama (1970). Wskaźnik ten jest określany przez kąt nachylenia (ω) wektora R_{sj} , a jego formuła obliczeniowa ma postać (Tomalski, Tomaszewski 2015):

$$WPK_i = \arctg \left(\frac{\sum_{j=1}^{365} |r_{sj}| \cos \alpha_{sj}}{\sum_{j=1}^{365} |r_{sj}| \sin \alpha_{sj}} \right) \quad (17)$$

gdzie: WPK_i – wskaźnik pory koncentracji dla roku i ; $|r_{sj}|$ – moduł długości wektora odzwierciedlającego średni przepływ w j -tym miesiącu roku i ; α_{sj} – kąt nachylenia wektora r_{sj} dla średnich przepływów miesięcznych.

Wskaźnik zaproponowany przez Markhama definiuje miesiąc, w którym koncentruje się przepływ danej rzeki, natomiast jego jednostkę stanowi doba liczona od pierwszego dnia roku hydrologicznego. Należy podkreślić, iż charakterystyka ta nie wskazuje miesiąca występowania najwyższych przepływów rzecznych, ale miesiąc (dzień) geometrycznej koncentracji odpływu rzecznego, uzależniony od wielkości i czasowego rozmieszczenia odpływu w całym roku hydrologicznym. Wykorzystanie w badaniach indeksu sezonowości oraz wskaźnika pory koncentracji wymaga pewnej ostrożności podczas interpretacji otrzymanych wyników. Niemniej, miary te stosowane równoległe pozwalają na uchwycenie różnych aspektów sezono-

wości przepływu rzeki w danym roku. W obrębie wielolecia możliwe jest natomiast śledzenie kierunków przemian zachodzących w reżimie odpływu.

Ostatnią z miar, które posłużyły do scharakteryzowania i oceny zmian zachodzących w sezonowej strukturze odpływu rzecznoego w wieloleciu był wskaźnik koncentracji odpływu (*GMO*). Miara ta została skonstruowana przez Oliviera (1980) na podstawie przekształcenia wskaźnika przedstawionego wcześniej przez Gibasa oraz Martina, a zastosowanego do oceny sezonowego rozmieszczenia opadów atmosferycznych. Wskaźnik koncentracji *GMO* był też z powodzeniem wykorzystywany w badaniach hydrologicznych (Soja 2002; Jokiela, Tomalski 2017). Oblicza się go według wzoru:

$$GMO_i = \frac{\sum_{j=1}^{12} (Q_{\text{sr}j})^2}{\left(\sum_{j=1}^{12} Q_{\text{sr}j}\right)^2} \cdot 100 \quad (18)$$

gdzie: GMO_i – wskaźnik koncentracji odpływu rzecznoego w roku i ; $Q_{\text{sr}j}$ – średni przepływ w miesiącu j [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; j – numer miesiąca od początku roku hydrologicznego.

Wskaźnik koncentracji odpływu rzecznoego jest charakterystyką bezwymiarową, która przyjmuje wartości z zakresu 8,3–100. Minimalna wartość tego wskaźnika oznacza zupełny brak koncentracji przepływu rzecznoego, co może mieć miejsce wówczas, gdy w każdym miesiącu danego roku wielkość średniego przepływu jest identyczna. Maksymalny wskaźnik *GMO* charakteryzuje natomiast całkowitą koncentrację przepływu, tzn. przepływ występuje wyłącznie w jednym miesiącu w danym roku (rzeka jest wtedy okresowa lub epizodyczna).

4.3. Delimitacja sezonów hydrologicznych.

Podstawę wydzielenia sezonów hydrologicznych dla badanych rzek stanowi procedura opracowana i przedstawiona przez Jokiela oraz Tomalskiego (2014a). Należy podkreślić, że została ona uprzednio zastosowana przy wyodrębnieniu sezonów hydrologicznych w rzekach odwadniających różne regiony Polski (Jokiela, Tomalski 2015a,b; Stanisławczyk, Tomalski 2015, 2017). Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono skuteczność oraz walor aplikacyjny poniższej metody, umożliwiający jej wykorzystanie w analizach zmian sezonowej struktury przepływu polskich rzek.

Pierwszy etap prac omawianej procedury delimitacyjnej stanowiło zgromadzenie oraz uporządkowanie dla każdego rozpatrywanego przekroju wodowskazowego danych doty-

czących przepływów dobowych zanotowanych w wieloleciu. Materiał hydrometryczny został uszeregowany zgodnie z podziałem roku hydrologicznego (poczynając od 1 listopada). Na podstawie tak przygotowanych danych, dla każdego posterunku wodowskazowego zostały utworzone trzy szeregi czasowe:

1. średnich wieloletnich przepływów dla jednoimiennych dni (oznaczone symbolem $Q_{\text{śrd}}$),
2. współczynników zmienności dla ciągów jednoimiennych przepływów dobowych (oznaczone symbolem Cv_d),
3. współczynników autokorelacji w ciągach przepływów dobowych wyznaczonych dla przesunięcia (opóźnienia) równego jeden rok (oznaczone symbolem Ra_d).

Należy zaznaczyć, że biorąc pod uwagę stosunkowo niewielką liczbę wystąpień lat przestępnych w badanym wieloleciu, w analizach statystycznych pominięto dzień 29 lutego. Jest to równoznaczne z tym, iż każdy z nowych utworzonych ciągów danych liczy 365 elementów. Warto również zauważyć, że zdefiniowane wyżej charakterystyki są estymatorami kilku istotnych informacji na temat warunków hydrologicznych panujących w poszczególnych dniach roku w skali wielolecia. Średni dobowy przepływ informuje bowiem o wielkości przeciętnych zasobów wodnych w kolejnych dniach roku. Współczynnik zmienności charakteryzuje natomiast poziom zmian tych zasobów w skali wieloletniej. Współczynnik autokorelacji jest zaś markerem charakteryzującym inercję (bezwładność) szeregów jednoimiennych przepływów dobowych. Jest on obliczany jako współczynnik korelacji szeregów jednoimiennych przepływów dobowych w wieloleciu, przy czym jeden z ciągów jest przesunięty (opóźniony) względem drugiego o stały interwał czasowy – tutaj równy jeden rok. Uzyskane współczynniki autokorelacji umożliwiają zatem ocenę stopnia, w jakim wielkość przepływu rzecznoego w danym dniu roku zależy od wielkości przepływu występującego w tym samym dniu roku poprzedzającego. Dają zatem odpowiedź na pytanie: czy przepływ danej rzeki w dniu 1 listopada 1960 roku jest skorelowany z jej przepływem występującym 1 listopada 1959 roku? Za pomocą współczynnika autokorelacji można zatem scharakteryzować swoistą „pamięć” rzeki i zlewni o poprzednich zasobach, która stanowi cenną informację w badaniach hydrologicznych (Tomalski, Tomaszewski 2015). Niski współczynnik świadczy bowiem o małej bądź kompletnym braku bezwładności w szeregach przepływów dobowych. Co oznacza, że przeciętne przepływy dla jednoimiennych dni w sąsiadujących latach są od siebie niezależne (brak trendów i rytmów dłuższych od rocznego). W odwrotnym przypadku, wysoki współczynnik autokorelacji wskazuje na dużą inercję w szeregach przepływów dobo-

wych, co dowodzi istnienia mniej lub bardziej wyraźnego rytmu lub trendu (Jokiel, Tomalski 2015a,b).

Współczynnik autokorelacji dla jednoimiennych przepływów dobowych, z uwzględnieniem opóźnienia szeregów względem siebie wynoszącego jeden rok, obliczono według wzoru (Tomaszewski 2012):

$$Ra_i = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (q_i - q\bar{s}r_i)(q_{i+1} - q\bar{s}r_{i+1})}{(n-1) \cdot \delta_i \cdot \delta_{i+1}} \quad (19)$$

gdzie: Ra_i – współczynnik autokorelacji przy przesunięciu $k=1$; q_i – przepływ dobowy w dniu i [$m^3 \cdot s^{-1}$]; q_{i+1} – przepływ dobowy w dniu $i+1$ [$m^3 \cdot s^{-1}$]; $q\bar{s}r_i$ – średni przepływ dla jednoimiennych dni i z wielolecia [$m^3 \cdot s^{-1}$]; $q\bar{s}r_{i+1}$ – średni przepływ dla jednoimiennych dni $i+1$ z wielolecia [$m^3 \cdot s^{-1}$]; δ_i – odchylenie standardowe w szeregu przepływów dobowych w dniu i w wieloleciu [$m^3 \cdot s^{-1}$]; δ_{i+1} – odchylenie standardowe w szeregu przepływów dobowych w dniu $i+1$ w wieloleciu [$m^3 \cdot s^{-1}$]; n – liczebność próby.

Wszystkie obliczone współczynniki autokorelacji scharakteryzowano pod względem ich istotności statystycznej. Do weryfikacji istotności omawianych współczynników (na przyjętym poziomie wynoszącym $\alpha=0,05$) posłużyła statystyka testowa Boxa–Ljunga, którą oblicza się zgodnie z formułą (Ljung, Box 1978; Jokiel, Tomalski 2014a):

$$S_{bl} = n(n+2) \sum_{i=1}^k \frac{Ra_i}{n-1} \quad (20)$$

gdzie: S_{bl} – statystyka testowa Boxa–Ljunga; n – liczebność badanej próby; k – przesunięcie (opóźnienie) autokorelacji; Ra_i – współczynnik autokorelacji dla przesunięcia $k=1$.

Procedura testowania statystycznego polega tutaj na weryfikacji hipotezy zerowej (H_0), która zakłada brak autokorelacji w ciągach jednoimiennych przepływów dobowych. Przyjęta alternatywna hipoteza H_1 dowodzi natomiast, że przepływy w badanych szeregach czasowych nie są rozłożone niezależnie od siebie, zatem występuje w nich autokorelacja (Jokiel, Tomalski 2014a). W omawianych badaniach liczba branych pod uwagę obserwacji jest znaczna, dlatego statystyka Boxa–Ljunga przyjmuje rozkład *chi*-kwadrat o k stopniach swobody. W przypadku, gdy obliczona statystyka testowa jest większa lub równa wyznaczonej wartości krytycznej, hipotezę zerową H_0 należy uznać za nieprawdziwą – wówczas zostaje przyjęta hipoteza alternatywna H_1 świadcząca o istnieniu autokorelacji w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych.

Warto zauważyć, że znak i statystyczna istotność współczynników autokorelacji wskazuje na charakter wieloletniej zmienności w ciągach jednoimiennych przepływów dobowych danej rzeki. Dodatkowo istotne statystycznie współczynniki autokorelacji świadczą o występowaniu trendów w szeregu przepływów. Natomiast ujemne współczynniki dowodzą, że w rozpatrywanych ciągach zmiany mają charakter skokowy bądź istnieje rytm, charakteryzujący się okresem dłuższym niż jeden rok. Należy także przypomnieć, że statystycznie nieistotny współczynnik autokorelacji świadczy o braku inercji w szeregach przepływów dobowych, a jego „nieistotność” dotyczy nie tylko siły inercji (wartości), ale również kierunku (znaku) (Jokiel, Tomalski 2014a).

Kolejnym etapem omawianej procedury delimitacyjnej jest standaryzacja zmiennych w obrębie utworzonych trzech szeregów czasowych. Przeprowadzenie tego typu transformacji danych w przypadku rozpatrywanych szeregów jest konieczne, ponieważ umożliwia wykonywanie dalszych operacji statystycznych i porównywanie zmiennych wyrażonych w różnych jednostkach pomiarowych i odznaczających się odmiennymi rozkładami statystycznymi (StatSoft 2006). W rezultacie standaryzacji, wszystkie szeregi charakteryzuje rozkład, którego odchylenie standardowe wynosi „1”, natomiast średnia jest równa „0” (Kreyszig 1979; StatSoft 2006; Tomalski, Tomaszewski 2015). Standaryzacji danych dokonano według wzoru:

$$X_s = \frac{X_i - X_{sr}}{\delta_x} \quad (21)$$

gdzie: X_s – zmienna standaryzowana; X_i – zmienna oryginalna; X_{sr} – średnia wartość zmiennej w badanej próbie; δ_x – odchylenie standardowe w badanej próbie.

Standaryzacja zmiennych w trzech rozpatrywanych szeregach czasowych umożliwia przeprowadzenie właściwej procedury delimitacyjnej sezonów hydrologicznych. Założenia wydzielenia sezonów hydrologicznych leżą u podstaw metody klasyfikacji obiektów dokonywanej poprzez grupowanie. Obiektami są w tym przypadku kolejne dni roku hydrologicznego, które są następnie łączone w grupy, odznaczające się możliwie dużym podobieństwem branych pod uwagę cech.

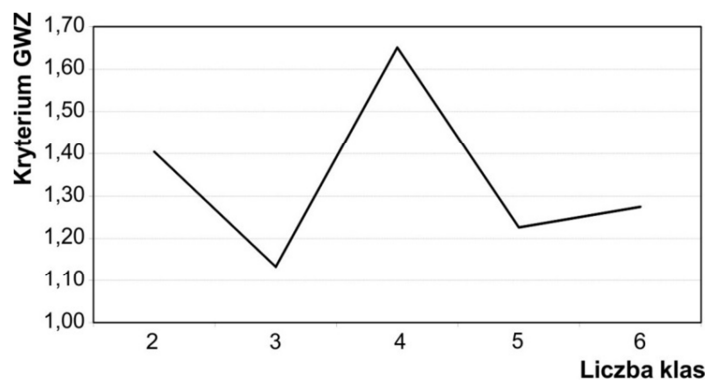
W prezentowanej rozprawie doktorskiej, opierając się na metodologii badawczej zaproponowanej przez Jokiel i Tomalskiego (2014a), klasyfikację poszczególnych dni w roku dla każdej badanej rzeki przeprowadzono wykorzystując metodę grupowania hierarchicznego Warda. Podstawę grupowania stanowi trójwymiarowa przestrzeń zmiennych standaryzowanych – każdy dzień roku opisany jest bowiem trzema cechami, tj. średnim wieloletnim przepływem, współczynnikiem zmienności wieloletniej oraz współczynnikiem autokorelacji

dla opóźnienia wynoszącego jeden rok. Metoda grupowania hierarchicznego zakłada, że przed przystąpieniem do analiz każdy obiekt stanowi oddzielne skupienie. W dalszych etapach procedur obliczeniowych pojedyncze skupienia łączy się ze sobą, aby w rezultacie powstało skupienie zawierające wszystkie badane elementy zbioru. W metodzie Warda dowolne dwa skupienia można ze sobą połączyć wówczas, kiedy zostanie zachowana minimalna suma kwadratów odchyłeń wszystkich obiektów od środków ciężkości tych skupień (Parysek 1982; Jokiel, Tomalski 2014a). Graficzną formę przedstawienia wyniku klasyfikacji hierarchicznej stanowi wykres dendrogramu struktury podobieństwa. Formuła obliczeniowa grupowania hierarchicznego Warda ma natomiast postać:

$$E.S.S. = \sum_{i=1}^n ds_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n ds_i \right)^2 \quad (22)$$

gdzie: *E.S.S.* – kryterium Warda (*error sum of squares*); *ds_i* – odchylenie *i*-tego punktu od środka ciężkości *s*.

Po przeprowadzeniu klasyfikacji hierarchicznej, następnym etapem badań jest analiza struktury podobieństwa oraz wyznaczenie optymalnej liczby klas dni dla każdej badanej rzeki. Spośród wielu istniejących metod określania liczby klas taksonomicznych danej zbiorowości, Autorzy opisywanej procedury delimitacyjnej jako podstawowe kryterium zaproponowali metodę GWZ (Milligan, Cooper 1985; Grabiński i in. 1989). Nazwa omawianej metody stanowi skrót pochodzący od pierwszych liter nazwisk jej Autorów – Grabińskiego, Wydymusa oraz Zeliasia (Jokiel, Tomalski 2014a, b; Stanisławczyk, Tomalski 2017). Zastosowanie kryterium GWZ wymaga obliczenia ilorazów odległości pomiędzy utworzonymi skupieniami. Procedurę obliczeniową należy wykonać dla dwóch pierwszych skupień, kolejno jest ona powtarzana dla pozostałych grup obiektów.



Rys. 11. Wartości kryterium GWZ dla Warty w Działoszynie.

Wydaje się, iż najdogodniejszą formą prezentacji wyników kryterium GWZ jest wykres liniowy (rys. 11). Na skonstruowanym wykresie oś odciętych powinna prezentować liczbę wyodrębnionych klas obiektów, zaś oś rzędnych – wartość kryterium GWZ. Optymalną liczbę klas wyznacza wówczas pierwsza najwyższa wartość kryterium GWZ (na rysunku 11 najlepsza liczba klas wynosi cztery).

Na podstawie badań przeprowadzonych dla całego zbioru 40 analizowanych rzek Polski należy stwierdzić, iż metoda GWZ niemal we wszystkich przypadkach daje zadowalające wyniki przy określaniu optymalnej liczby klas taksonomicznych. Niemniej jednak, nie dla każdej badanej rzeki zastosowanie kryterium GWZ przyniosło oczekiwane rezultaty w postaci wyodrębnienia odpowiedniej liczebności danych „typów dni” tworzących odrębne sezony hydrologiczne. Przykładem jest Dunajec (wodowskaz w Nowym Sączu), dla którego metoda GWZ wskazała, że najbardziej właściwy podział powinien obejmować cztery klasy taksonomiczne. W rezultacie dalszych analiz statystycznych oraz przeanalizowania cech poszczególnych typów dni okazało się jednak, że liczba klas w tym przypadku jest zbyt mała. Dwa wydzielone skupienia, które składały się z największej liczby elementów (C_{GWZ} , D_{GWZ} – por. rys. 12) charakteryzowały się wówczas podobnymi cechami. Obiekty (dni) tworzące te skupienia odznaczały się co prawda zróżnicowaną wielkością i dynamiką przepływu rzeczno-ego oraz różnym poziomem autokorelacji, jednak zdecydowana przewaga dni jednego typu (w tym przypadku odznaczających się niskimi przepływami, przeciętną zmiennością oraz brakiem autokorelacji) nadawała dominujące cechy w przypadku obydwu rozpatrywanych skupień.

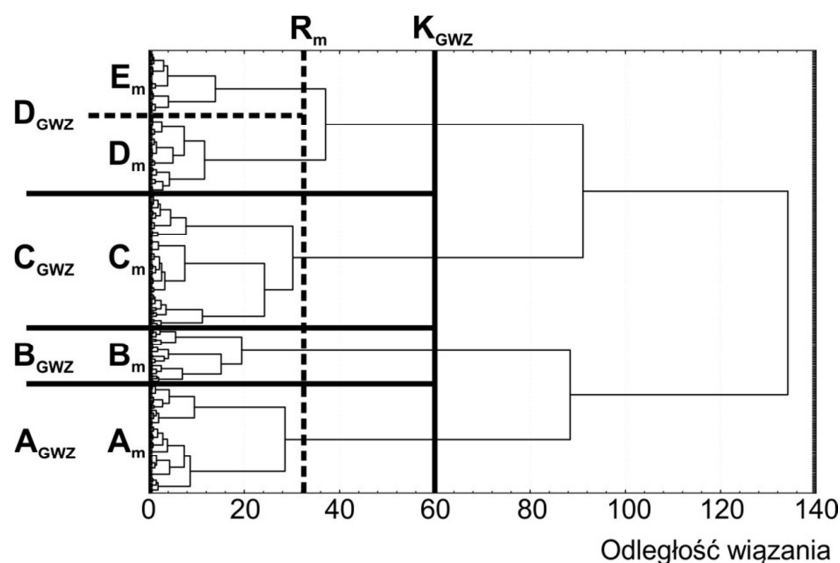
W trakcie przeprowadzanych analiz podjęto zatem próbę wyznaczenia odpowiedniej liczby klas taksonomicznych dla Dunajca z wykorzystaniem tzw. „reguły Mojeny”, którą oblicza się według wzoru (Mojena 1977; Stanisławczyk, Tomalski 2015):

$$R_m = d_s + d_{os} \cdot b \quad (23)$$

gdzie: R_m – reguła Mojeny; d_s – średnia odległość łączenia skupień; d_{os} – odchylenia standardowe odległości łączenia skupień; b – stała równania.

Stać równania b w powyższej formule jest uzależniona od liczby elementów w analizowanej próbie i mieści się w przedziale: 2,75–3,50. Przyjmuje ona wartości z górnej granicy tego zakresu wówczas, gdy badana próba jest duża, tzn. liczy tak jak w tym przypadku co najmniej kilkaset zmiennych. W rezultacie wykorzystania reguły Mojeny liczba klas taksonomicznych w przypadku Dunajca zwiększyła się do pięciu. Wydaje się, że jest to wynik w pełni zadowalający i wskazuje optymalną liczebność skupień dla tej rzeki. Poprzez zwiększ-

szczenie liczby typów dni, które tworzą sezony o zróżnicowanym charakterze przepływu rzeczno-ego, możliwa staje się bardziej szczegółowa charakterystyka reżimu hydrologicznego Dunajca.



Rys. 12. Podział dendrogramu podobieństwa typów dni wydzielonych zgodnie z kryteriami określania optymalnej liczby klas taksonomicznych (kryterium GWZ, reguła Mojeny) dla Dunajca po Nowy Sącz.

Objaśnienia: K_{GWZ} – odległość wiązania po zastosowaniu kryterium GWZ; A_{GWZ} , ..., D_{GWZ} – typy dni wyodrębnione w wyniku zastosowania metody GWZ; R_m – odległość wiązania po zastosowaniu reguły Mojeny; A_m , ..., E_m – typy dni wyodrębnione w wyniku zastosowania reguły Mojeny.

Kolejną rzeką, dla której przy określeniu optymalnej liczby typów dni wykorzystano regułę Mojeny była Soła. Zastosowanie metody GWZ dla tego ciekę wykazało, że najlepiej podzielić jednoimienne dni na trzy klasy taksonomiczne. Podobnie jak w przypadku Dunajca, na podstawie kolejnych etapów analiz statystycznych wybranej metody delimitacyjnej stwierdzono jednak, że taka liczba typów dni jest zbyt mała, aby dokonać rzetelnej charakterystyki przepływu rzeczno-ego Soły w wydzielonych sezonach. Zastosowanie reguły Mojeny umożliwiło zwiększenie tej liczby do pięciu klas taksonomicznych – wydzielone w ten sposób sezony w pełni odzwierciedlają zmienność odpływu Soły w cyklu rocznym.

Każda z wyodrębnionych klas taksonomicznych utożsamia dany typ dni, które występują w obrębie średniego rocznego hydrogramu przepływu poszczególnej rzeki. Dni reprezentujące dany typ odznaczają się względnym podobieństwem cech uwzględnionych w procedurze badawczej. W przypadku przeprowadzonych badań dni wchodzące w skład danego typu charakteryzuje zatem zbliżona wielkość i wieloletnia zmienność przepływu rzeki oraz podobny charakter bezwładności szeregów jednoimiennych przepływów dobowych.

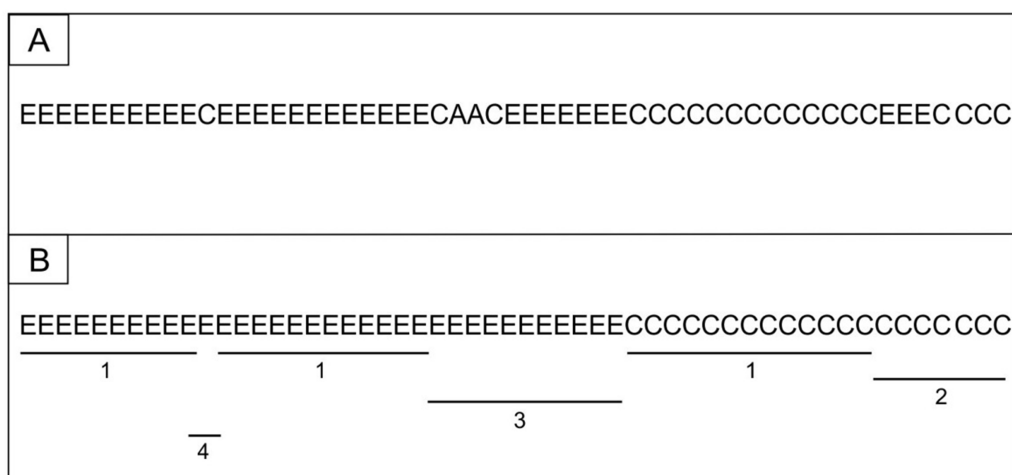
Na podstawie zidentyfikowanych typów dni można było przystąpić do ich połączenia w możliwie jak najbardziej jednorodne sekwencje, stanowiące odrębne sezony hydrologiczne.

W tym celu dla każdej badanej rzeki wyodrębnione typy dni zostały uporządkowane zgodnie z kolejnością w roku hydrologicznym. Na wstępnym etapie delimitacji sezonów hydrologicznych wszystkie zidentyfikowane typy dni zostały w przypadku każdej rzeki tymczasowo oznaczone kolejnymi, wielkimi literami alfabetu. W trakcie przeprowadzanych badań okazało się, że dni jednego typu często tworzą względnie długie szeregi (np. CCCCCCCCCDDDDDDDDDDDD), niekiedy jednak układają się one naprzemiennie (np. AABBBADDDCE) (por. rys. 13). Konieczne stało się zatem przyjęcie dodatkowych warunków i założeń, które umożliwią łączenie ze sobą sekwencji różnych typów dni.

Procedura delimitacyjna została przeprowadzona zgodnie z metodą przedstawioną w pracy Jokiela i Tomalskiego (2014a):

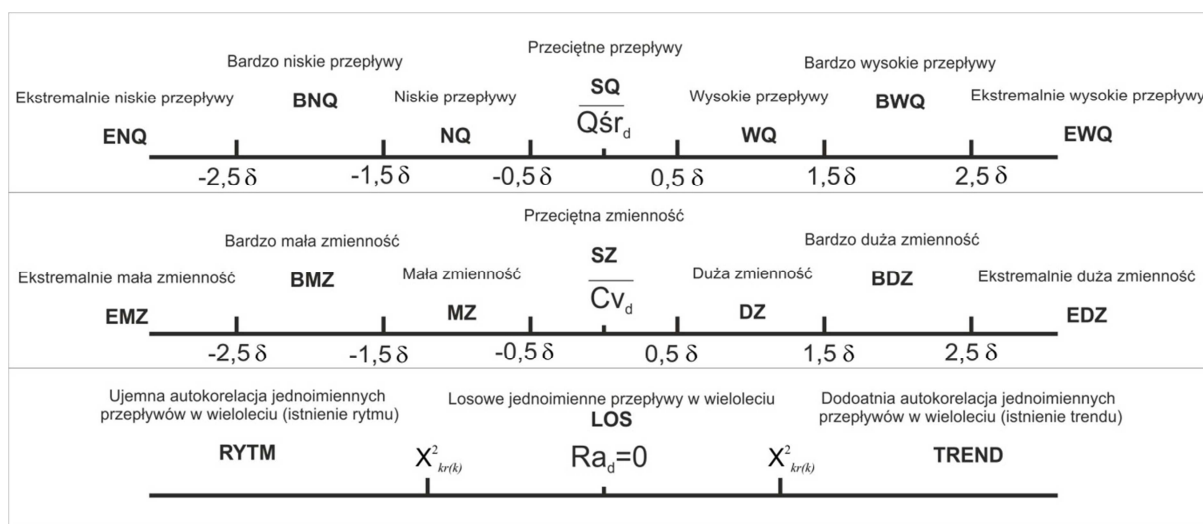
1. W pierwszej kolejności należy wyodrębnić szeregi tego samego typu dni liczące co najmniej dziesięć elementów; takie sekwencje tworzą oddzielne sezony hydrologiczne bądź „jądro” określonego sezonu;
2. Do wyodrębnionego zgodnie z powyższym punktem sezonu hydrologicznego (bądź jądra tego sezonu) można przyłączyć sąsiednie, liczące mniej niż dziesięć elementów ciągi dni reprezentujące ten sam typ; przyłączona w ten sposób sekwencja musi być jednak dłuższa od szeregu innego typu dni, występującego pomiędzy danym sezonem a tą sekwencją;
3. Pozostałe dni, które nie mogły zostać połączone w sezony hydrologiczne zgodnie z etapami opisanymi powyżej, zostały podzielone na odcinki składające się z co najmniej dziesięciu elementów; jeżeli ponad połowę danej serii reprezentują dni tego samego typu (np. w sekwencji 14-elementowej przynajmniej osiem dni ma ten sam typ), to może utworzyć ona jądro nowego sezonu lub zostać połączona z sąsiednim sezonem.
4. Serie jednoimiennych dni, liczące poniżej dziesięciu elementów, należy dołączyć do sąsiednich sezonów; kryterium dołączania takich serii do danego sezonu hydrologicznego jest podobieństwo wielkości średnich przepływów dobowych.

Zastosowanie przedstawionej powyżej procedury delimitacyjnej stwarza możliwość łączenia względnie jednorodnych typów dni w dłuższe i zwarte sezony hydrologiczne. Na podstawie analizy zaprezentowanego schematu warto również zauważyć, że dany sezon może pojawić się na przeciętnym, rocznym hydrogramie przepływu danej rzeki tylko raz, jednak częściej pojawia się tam wielokrotnie. Należy też podkreślić, iż analiza liczby i sekwencji sezonów hydrologicznych w danej rzece pozwala ocenić charakter i cechy jej reżimu przepływu nie tylko w rytmie rocznym, ale i w wieloleciu.



Rys. 13. Przykład zastosowania metody delimitacji sezonów hydrologicznych dla Małej Panwi po wodowskaz Staniszcze Wielkie.
 Objaśnienia: A – fragment pierwotnej sekwencji typów dni; B – wyodrębnione sezony hydrologiczne zgodnie z przyjętą procedurą delimitacyjną; 1, 2, 3, 4 – oznaczenia kolejnych etapów procedury delimitacyjnej wyszczególnionych w tekście.

Ostatnim etapem omawianej procedury delimitacyjnej jest nadanie nazw poszczególnym sezonom hydrologicznym. W celu zapewnienia jak największej przejrzystości uzyskanych wyników oraz umożliwienia prowadzenia analiz porównawczych badanych rzek, nazwy wszystkich wyodrębnionych sezonów zostały ujednolicone i odnoszą się bezpośrednio do ich cech charakterystycznych. Procedura ta została szczegółowo opisana przez Autorów metody (Jokiel, Tomalski 2014a), a jej wynikiem jest diagram zamieszczony na rys.14.



Rys. 14. Schemat tworzenia nazwy sezonu hydrologicznego (wg Jokiel, Tomalski 2014a).
 Objaśnienia: Qsr_d – średni przepływ dobowy w analizowanym sezonie; Cv_d – średni współczynnik zmienności przepływów w analizowanym sezonie; δ – odchylenie standardowe analizowanych zmiennych; Ra_d – współczynnik autokorelacji przepływów w analizowanym sezonie przy przesunięciu równym jeden rok; $\chi^2_{kr(k)}$ – wartości krytyczne statystyki testowej S_{bj}.
 Źródło: Jokiel, Tomalski 2014a.

Zgodnie z powyższym schematem, jeżeli w wydzielonym sezonie w danej rzece przeważały dni odznaczające się dodatnimi współczynnikami autokorelacji, należało uznać, że w obrębie tego sezonu występuje wieloletnia tendencja zmian w szeregach jednoimien-nych dobowych przepływów. Dla każdego roku z wielolecia obliczano wówczas średni przepływ dobowy w obrębie dni składających się na taki sezon. Jednocześnie, dla każdego roku wyznaczano również przepływ wysoki oraz niski. Na podstawie utworzonych w ten sposób szeregów przepływów charakterystycznych przeprowadzono weryfikację statystycznej istotności wykrytego trendu (Jokiel, Tomalski 2014a). Do tego celu wykorzystano medianową odmianę testu liczby serii (dla przyjętego poziomu istotności $\alpha=0,05$) (Mitosek 2009).

5. Zmiany i zmienność charakterystyk sezonowości odpływu.

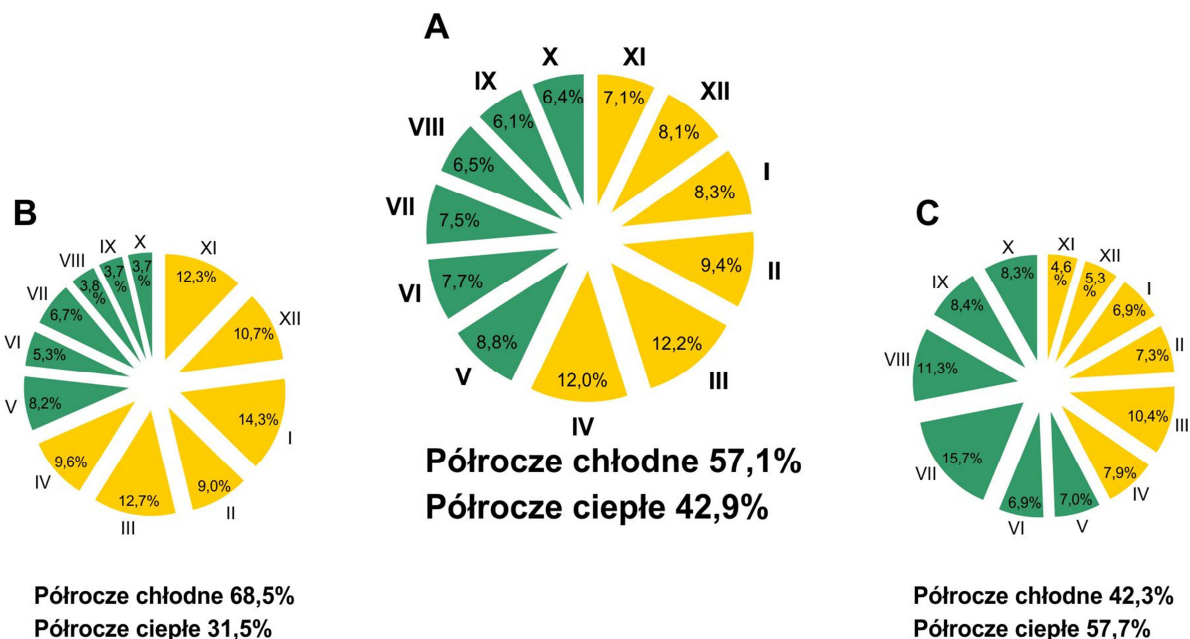
5.1. Przepływy charakterystyczne.

5.1.1. Sezonowe rozmieszczenie odpływu.

Sezonowy rozkład odpływu rzeczno-ego w Polsce jest bez wątplenia uzależniony od zmian charakterystyk klimatycznych w cyklu rocznym, które są konsekwencją następujących po sobie pór roku. Do elementów hydroklimatycznych, które wpływają na wielkość odpływu rzeczno-ego w poszczególnych sezonach należą przede wszystkim wysokość i rozkład opadów atmosferycznych oraz temperatura powietrza, która determinuje z kolei intensywność ewapotranspiracji. Przestrzenne zróżnicowanie odpływu w poszczególnych miesiącach i porach roku hydrologicznego wynika również z odmiennego udziału różnych form zasilania rzek Polski, a tym samym uzależnione jest od typu ich reżimu hydrologicznego.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że większa część rocznych zasobów wodnych badanych rzek Polski odpływała w chłodnej połowie roku (57,1%) (rys. 15A; zał. 2). Warto zaznaczyć, iż udział tego półrocza jest identyczny z otrzymanym w oparciu o analizę przepływu polskich rzek w latach 1951–1970 (Stachý i in. 1979) oraz dla okresu 1951–1990 (Fal i in. 1997). Zatem, udział odpływu z poszczególnych półroczy w sumie rocznej jest dość stabilnym elementem w skali wieloletniej. Może charakteryzować się on jednak dużym zróżnicowaniem w poszczególnych latach wielolecia (rys. 15BC).

Największe zasoby wodne odpływały badanymi rzekami w kwietniu (12,2%) oraz w marcu (12,0%) (rys. 15A; zał. 2). Udział dwóch wymienionych miesięcy wiosennych stanowił niemal $\frac{1}{4}$ rocznego przepływu analizowanych rzek i był konsekwencją formowania się w tym okresie wysokich wezbrań roztopowych i mieszanych.



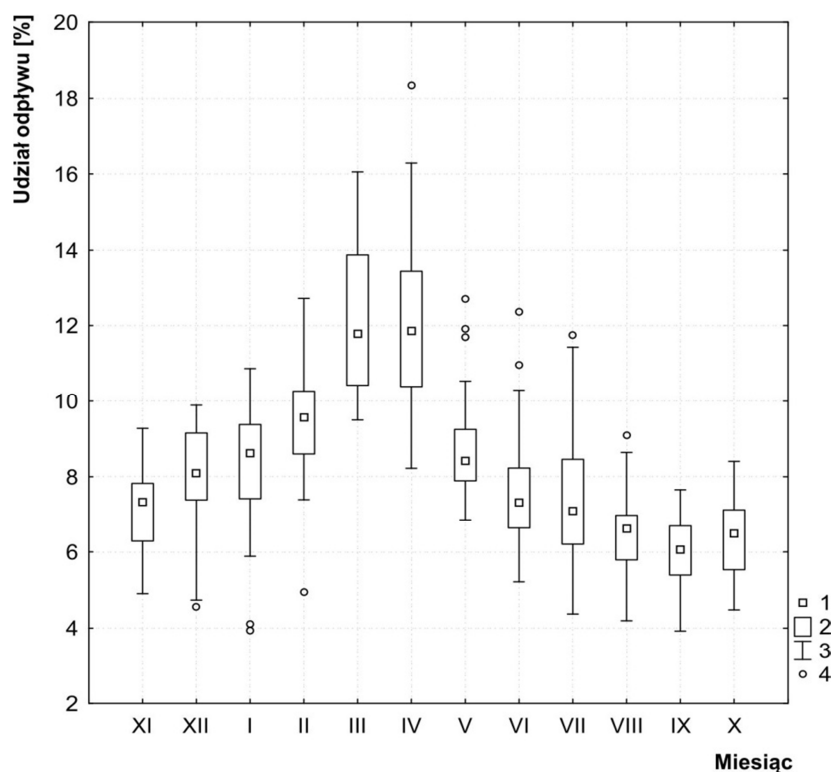
Rys. 15. Średni udział odpływu w poszczególnych miesiącach w sumie rocznej w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010 (A) oraz w 1963 roku (B) i w 2010 roku (C).

Najmniejsza część rocznych zasobów wodnych badanych rzek odpływała natomiast w trakcie ostatnich trzech miesięcy roku hydrologicznego. Udział odpływu dla miesięcy od sierpnia do października nie przekraczał 6,5% odpływu rocznego. Jest to spowodowane relatywnie wysoką ewapotranspiracją, przy stosunkowo niskich opadach atmosferycznych w okresie letnio-jesiennym (Jokiel 2004; Michalczyk 2017). Ograniczone zasilanie i wyczerpanie zretencjonowanych wcześniej zasobów skutkuje w tych miesiącach zmniejszeniem przepływów rzecznych i częstym występowaniem niżówek.

Udział odpływu z poszczególnych miesięcy w sumie rocznej dla badanej grupy zlewni przedstawiono w postaci wykresu typu *box&whisker* (rys. 16). Zakres „pudełek z wąsami” obrazuje stopień dyspersji średniego wieloletniego udziału odpływu w danym miesiącu względem średniej sumy rocznej dla wszystkich analizowanych zlewni. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że udział przepływu z poszczególnych miesięcy był zróżnicowany w przypadku rozpatrywanych rzek. Na prezentowanym wykresie można wyodrębnić pięć grup miesięcy, które znacząco różniły się między sobą zarówno wielkością, jak i stopniem zróżnicowania udziału miesięcznego odpływu względem sumy rocznej.

W miesiącach ostatniego kwartału roku hydrologicznego stwierdzono najmniejszy, w cyklu rocznym, udział miesięcznych odpływów. Jednocześnie, udział ten wyróżniał się relatywnie niewielkim zróżnicowaniem na tle pozostałych miesięcy – rozpiętość między wartościami ekstremalnymi nie przekraczała w tych miesiącach 5%. Jak już wcześniej zau-

ważono, późnym latem oraz jesienią zasobność wodna większości polskich rzek ulega znacznemu zmniejszeniu (Jokiel 2004; Michalczyk 2017).



Rys. 16. Zróżnicowanie udziału odpływu w poszczególnych miesiącach w sumie rocznej w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające.

Udziały odpływu w miesiącach zimowych w sumie rocznej wzrastały od grudnia do lutego, równocześnie zwiększał się także poziom ich zróżnicowania w zbiorze. Decydujący wpływ na wzrost dyspersji udziału odpływu miesiący od grudnia do lutego miało występowanie stosunkowo niskich wartości odstających, zanotowanych w rzekach odwadniających obszary górskie. Warto nadmienić, że zmniejszenie odpływu cieków górskich w okresie zimowym może być determinowane przez różnorodne czynniki. Do najważniejszych należy zaliczyć retencję śnieżną oraz mały odpływ podziemny wywołany niskimi stanami retencji podziemnej (Jokiel, 1994; Tomaszewski 2001; Michalczyk 2017).

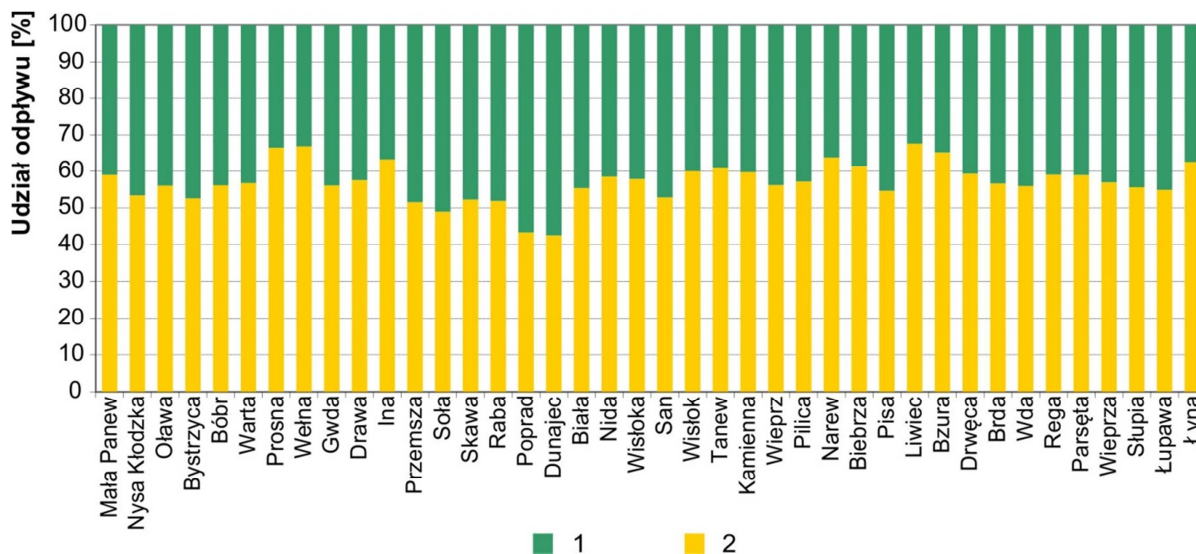
Udział odpływu w marcu oraz kwietniu był zdecydowanie wyższy w odniesieniu do pozostałych miesięcy i odznaczał się bardzo dużym zróżnicowaniem. Największą rozpiętością przedziału zmienności udziału odpływu w sumie rocznej charakteryzowały się odpływy kwietniowe. Najmniejszy udział kwietnia w porównaniu do sumy rocznej miała Rega (8,2%), największy – Narew (18,3%). Rozpiętość przedziału wyniosła zatem 10,1%. Relatywnie niski udział przepływu miesiący wiosennych w sumie rocznej zanotowano w przypadku rzek poje-

ziernych, zwłaszcza z północno-zachodniej części Polski. Atlantyckie wpływy klimatu i re-tencyjna rola jezior są tu zatem doskonale widoczne.

Wysokie udziały odpływów marca oraz kwietnia są skutkiem nakładania się wydajnych opadów wiosennych na wezbrania roztopowe. Dlatego, najwyższym udziałem marcowego przepływu w sumie rocznej charakteryzują się rzeki odwaniające wschodnią oraz północno-wschodnią część Polski. Obszary te pozostają w zasięgu oddziaływania klimatu kontynentalnego, co wpływa na zwiększoną koncentrację odpływu tych zlewni w porze roztopów (Byczkowski 1999; Michalczyk 2017).

W ciepłej połowie roku przeciętny udział odpływu z poszczególnych miesięcy w sumie rocznej stopniowo malał. Na przełomie wiosny i lata wyróżniał się maj, który cechował się średnim udziałem odpływu względem sumy rocznej przy jednoczesnym bardzo małym rozstępie wartości nieodstających. Z kolei, w czerwcu oraz lipcu przeciętny udział miesięcznego odpływu był nieco mniejszy, jednak wyróżniał się znacznym zróżnicowaniem w skali Polski. Warto zwrócić uwagę na wartości odstające zarejestrowane w wymienionych miesiącach. Najwięcej zasobów wodnych podczas miesięcy letnich odprowadzały prawostronne dopływy górnej Wisły, charakteryzujące się reżimem pluwialno-niwalnym i niwalno-pluwialnym oraz znaczną przewagą zasilania powierzchniowego (Dynowska 1994; Wrzesiński 2013). Zwiększony udział przepływu w wymienionych miesiącach jest w rzekach górskich konsekwencją formowania się licznych wezbrań opadowych (Biernat 1994; Michalczyk 2017).

Udział odpływu w chłodnej oraz w ciepłej porze roku w odpływie rocznym badanych zlewni Polski był wyraźnie zróżnicowany, przy czym dostrzec tu można pewne prawidłowości regionalne. Warto na przykład zauważyć, iż różnice w podziale wielkości odpływu na półrocze chłodne i ciepłe dobrze korespondowały z typami reżimów hydrologicznych analizowanych rzek. Największy udział przepływu w trakcie półrocza chłodnego, stanowiący ponad 60% sumy rocznej, zanotowano dla grupy rzek charakteryzujących się reżimem niwalnym silnie wykształconym, do której należy: Liwiec (67,6%), Wełna (66,9%), Prosna (66,5%), Bzura (65,2%) oraz Narew (63,8%) (rys. 17). Dominacją przepływu półrocza chłodnego odznaczały się również Ina (63,2%) i Łyna (62,6), posiadające reżim niwalny średnio wykształcony. Wyniki przeprowadzonych analiz w znacznym stopniu potwierdzają wnioski płynące z wcześniejszych badań innych Autorów. Zwracają oni uwagę na fakt, że przewaga udziału przepływu miesięcy zimowych jest charakterystyczna dla rzek systemów Warty, Narwi i Bugu oraz dla znacznej części rzek przymorskich (Fal 1987a,b; Fal i in. 1997).



Rys. 17. Udział odpływu w półroczu chłodnym i w półroczu ciepłym w odpływie rocznym w badanej grupie zlewni w wieloletniu 1951–2010.

Objaśnienia: 1 – udział odpływu w półroczu ciepłym [%], 2 – udział odpływu w półroczu chłodnym [%].

Przewagę udziału przepływu z półroczu ciepłego nad przepływem w półroczu chłodnym zanotowano dla trzech rzek karpackich: Dunajca (57,4%), Popradu (56,6%) oraz Soły (51,0%). Należy zatem zauważyć, że znaczny udział przepływu miesięcy pory cieplej był charakterystyczny dla prawych dopływów górnej Wisły, odznaczających się reżimem pluwialno-niwalnym i dominacją zasilania pochodzącego bezpośrednio z opadów atmosferycznych.

5.1.2. Trendy w szeregach miesięcznych przepływów charakterystycznych.

5.1.2.1. Trendy w szeregach przepływów niskich.

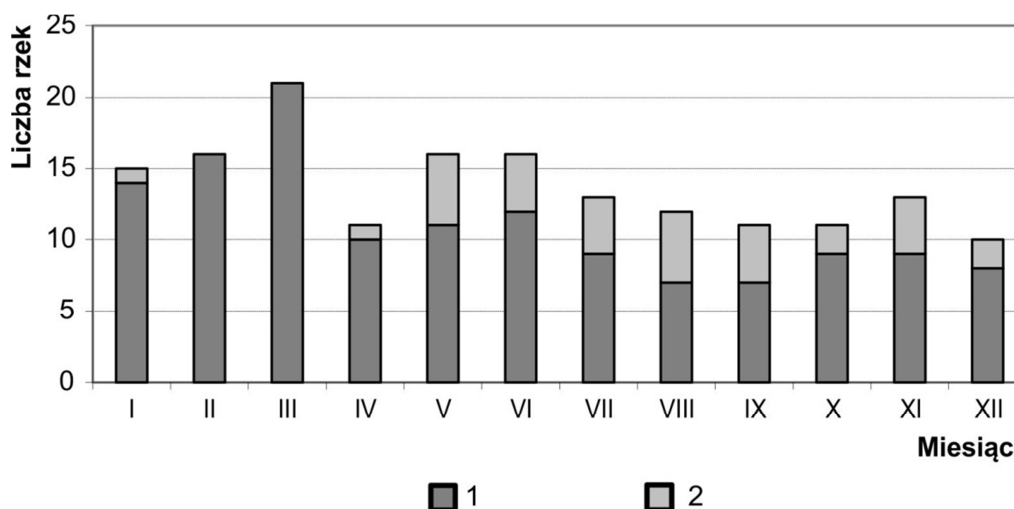
W prezentowanej pracy podjęto próbę zbadania czy w obrębie szeregów miesięcznych przepływów analizowanych rzek zachodzą zmiany o charakterze wieloletniej tendencji. Do tego celu, dla wszystkich rozpatrywanych rzek wyznaczono miesięczne przepływy charakterystyczne główne pierwszego stopnia – niskie, średnie i wysokie. Statystyczna istotność trendów we wskazanych szeregach przepływów została każdorazowo oceniona na podstawie wyniku nieparametrycznego testu Manna–Kendalla (dla poziomu istotności $\alpha=0,05$).

Spośród 480 analizowanych szeregów niskich przepływów miesięcznych (40 rzek; 12 miesięcy), statystycznie istotne trendy zidentyfikowano w 165 ciągach pomiarowych,

co stanowi niemal 35% wszystkich rozpatrywanych przypadków (zał. 3). Ogromna większość istotnych trendów (133 przypadki) wskazuje na występowanie rosnącej tendencji niskich przepływów miesięcznych. Tak wyraźna przewaga trendów rosnących nad malejącymi w wieloleciu, co więcej zauważalna w odniesieniu do wszystkich miesięcy, może być spowodowana oddziaływaniem gospodarki wodnej na modyfikację warunków obiegu wody. Szczególnie znaczenie można przypisać tutaj budowie zbiorników retencyjnych. Ich liczba na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat znacznie wzrosła (Rzętała 2008; Rzętała 2017). Powstanie i gospodarowanie wodą w sztucznych zbiornikach wodnych skutkuje zwykle wzrostem minimów miesięcznych przepływu rzek. Jako argument potwierdzający wyżej sformułowany wniosek może posłużyć przykład Sanu, dla którego we wszystkich miesiącach zanotowano rosnące trendy w szeregach niskich przepływów. Na Sanie, powyżej analizowanego wodowskazu w Lesku, w 1968 roku powstał największy w Polsce (pod względem pojemności całkowitej) zbiornik zaporowy Solina (Dynowska 1984; Rzętała 2017). Jako kolejny przykład można wymienić Narew, w której w ośmiu miesiącach zidentyfikowano wieloletnią rosnącą tendencję niskich przepływów. Na rzece tej od 1991 roku funkcjonuje zbiornik wodny Siemianówka (Marcinkowski, Grygoruk 2017). Tego rodzaju przykładów wpływu sztucznych zbiorników wodnych na wyrównanie odpływu poniżej tych obiektów można wskazać wiele, nie tylko w badanej grupie zlewni (np. Soja 2002; Rzętała 2008; Szafranski, Stefanek 2008; Wiejaczka 2011; Witkowski, Witkowska 2019).

Interesujące wnioski płyną również z analizy liczby statystycznie istotnych trendów w szeregach niskich przepływów badanych rzek w poszczególnych miesiącach roku hydrologicznego (rys. 18; zał. 3). Okazuje się, że najwięcej statystycznie istotnych tendencji zarejestrowano w odniesieniu do minimów marca – 21 przypadków. Co więcej, wszystkie te trendy wskazują na wzrost niskich przepływów.

W świetle wyników badań zamieszczonych w licznych opracowaniach klimatologicznych (np. Kożuchowski 2004ab; Żmudzka 2009), w drugiej połowie XX wieku zanotowano na obszarze Polski wyraźny wzrost sum opadów atmosferycznych w miesiącach wiosennych, przy czym istotny trend rosnący wystąpił w marcu. Co więcej, dodatnie tendencje nie dotyczyły jedynie wysokości opadów, ale również ich intensywności oraz częstości, wyrażonej liczbą dni z opadem w roku. Zwiększenie sum opadów atmosferycznych było zdaniem wyżej wymienionych Autorów konsekwencją postępującego ocieplenia klimatu Polski, zaznaczającego się szczególnie w porze wiosennej. Wydaje się zatem, że znaczna liczba rosnących trendów niskich przepływów badanych polskich rzek w marcu mogła być spowodowana wzrostem zasilania rzek wiosennymi opadami atmosferycznymi.



Rys. 18. Liczba statystycznie istotnych trendów w szeregach niskich przepływów w badanej grupie rzek w poszczególnych miesiącach roku.

Objaśnienia: 1 – statystycznie istotny trend rosnący, 2 – statystycznie istotny trend malejący; statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

Nieco mniej istotnych tendencji w przepływach niskich zanotowano w: lutym, maju i czerwcu (w każdym miesiącu stwierdzono je w przypadku 16 rzek) oraz w styczniu (15 rzek). Poza lutym, w którym trendy, podobnie jak w marcu, były tylko rosnące, w pozostałych miesiącach przepływy niskie odznaczały się różnym kierunkiem zmian wieloletnich – zdecydowanie dominowały jednak trendy rosnące. Choć w ubiegłym wieku w rocznej sumie opadów na obszarze kraju nie zidentyfikowano statystycznie istotnego trendu, to wyraźne zmiany zarysowały się w ich strukturze sezonowej (Marosz i in. 2011). Na wielu stacjach meteorologicznych zarejestrowano zwiększenie sum opadu w czerwcu. Jednocześnie, w skali całego kraju zaznaczyła się ujemna tendencja wysokości opadów półrocza ciepłego w stosunku do wysokości opadów chłodnej połowy roku. Choć trend ten nie był statystycznie istotny, to zdaje się wskazywać na pewną prawidłowość zachodzącą w rozkładzie opadów w cyklu rocznym na obszarze Polski. Wzrost znaczenia opadów półrocza chłodnego w sumie rocznej dowodzi osłabienia „kontynentalnych” cech reżimu opadowego w Polsce i stopniowego przekształcania go w reżim bardziej „oceaniczny” (Degirmendzić i in. 2004; Fortuniak i in. 2001).

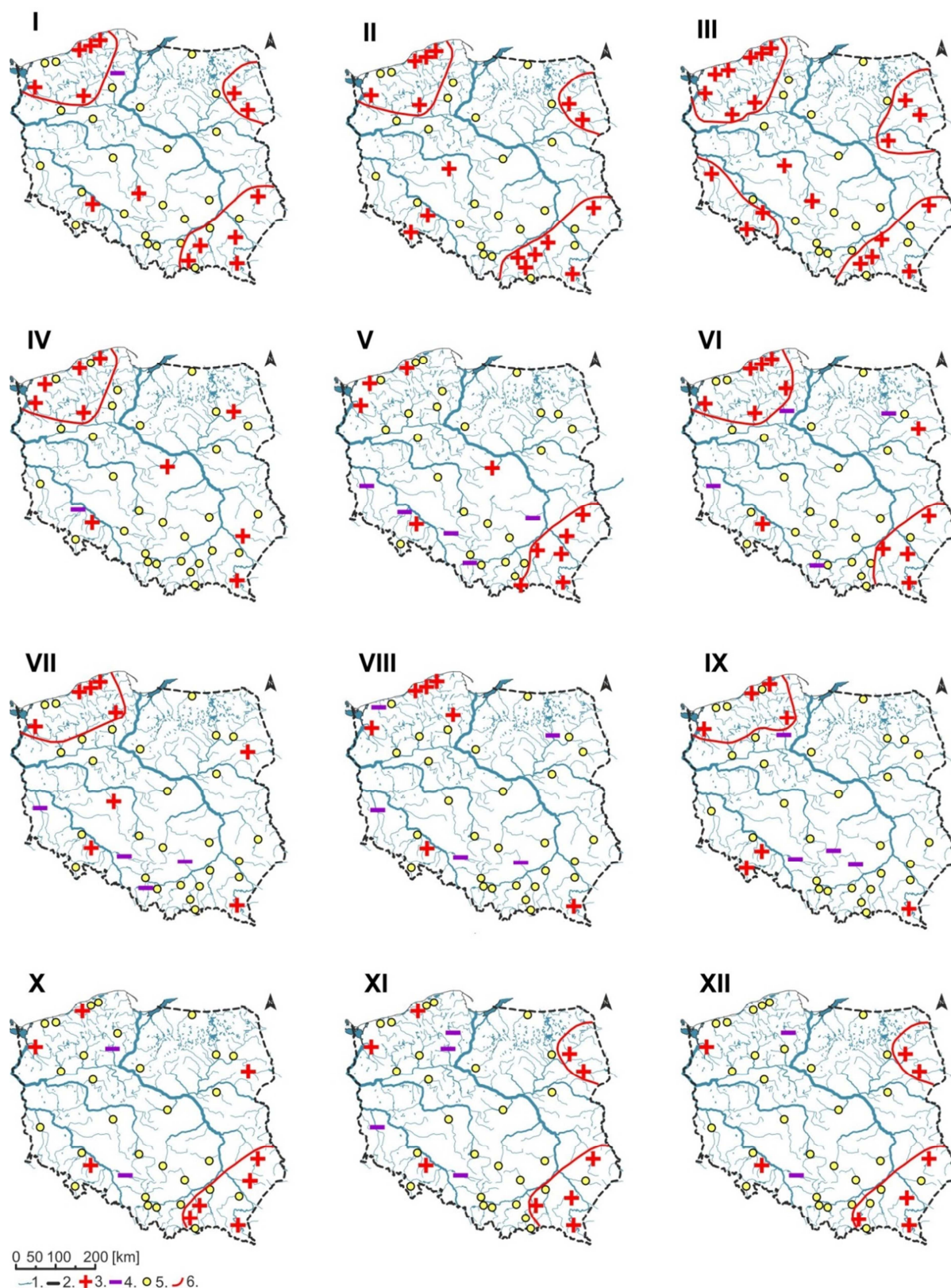
Warto również zwrócić uwagę, że w drugiej połowie XX wieku zaobserwowano, głównie w zachodniej Polsce, wyższą frekwencję tzw. „zim bezjądrowych” (Kozuchowski 2004a). Takie sezony zimowe charakteryzuje wyraźny podział na dwa mroźniejsze okresy, pomiędzy którymi występuje faza ciepła. Wzrost temperatur skutkuje wówczas pojawieniem się odwilży śródzimowych, podczas których zachodzi intensywne topnienie pokrywy śnież-

nej. Woda pochodząca z roztopów może zasilać wówczas rzeki i powodować wzrost ich przepływu w miesiącach zimowych.

Analizując liczbę oraz kierunek statystycznie istotnych trendów niskich przepływów w badanej grupie rzek Polski można dostrzec pewne cechy świadczące o osłabieniu „kontynentalnych” cech reżimu hydrologicznego (rys. 18; zał. 3). Biorąc pod uwagę liczbę istotnych trendów niskich przepływów w półroczu chłodnym i ciepłym należy stwierdzić, że jest ona podobna: w pierwszej połowie roku hydrologicznego 86 przypadków, w drugiej – 79. Różnice pomiędzy półroczami ujawniają się jednak w momencie, kiedy bierzemy pod uwagę kierunek wykrytych tendencji zmian niskich przepływów. W półroczu chłodnym zidentyfikowano 78 trendów rosnących i tylko 8 malejących. Z kolei, w półroczu ciepłym również dominują tendencje rosnące (55 przypadków), jednak – w porównaniu do półroczu chłodnego – stwierdzono tutaj znacznie wyższy odsetek trendów malejących (24 przypadki). Jak już wspomniano wcześniej, wyniki badań niejednokrotnie wskazują na wzrost „oceanicznego” charakteru w rozkładzie charakterystyk hydrometeorologicznych w Polsce (np. Jokiel, Kożuchowski 1989; Kożuchowski i in. 2000; Żmudzka 2009).

Interesujące wnioski płyną z analizy przestrzennego rozmieszczenia istotnych tendencji niskich przepływów miesięcznych w badanym wieloleciu (rys. 19). W styczniu oraz w lutym, rosnące trendy w niskich przepływach zanotowano w większości rzek przepływających przez obszar półwyspu Pomorskiego oraz Pojezierza Pomorskiego (Gwda, Ina, Wieprza, Słupia, Łupawa). Istotne tendencje świadczące o wzroście niskich przepływów w wieloleciu zarejestrowano również dla części rzek w południowo-wschodniej Polsce, odwadniających Karpaty (Dunajec, Biała, Wisłoka, San, Wisłok) oraz Wyżynę Lubelską (Wieprz). Wieloletni wzrost niskich przepływów w styczniu i lutym charakteryzuje również niektóre rzeki w północno-wschodniej Polsce (Biebrza, Narew).

W marcu, rosnące trendy niskich przepływów zanotowano niemal we wszystkich rzekach z badanej grupy poza Brdą i Wdą, które odwadniają część półwyspu Pomorskiego. Wieloletni wzrost marcowych minimów przepływu wyróżnia również niektóre lewostronne dopływy górnej i środkowej Odry (Nysa Kłodzka, Oława, Bóbr). Jednocześnie, trendy rosnące w niskich przepływach zarejestrowano w rzekach przepływających w północno-wschodniej (Biebrza, Narew, Liwiec) oraz południowo-wschodniej części Polski (Dunajec, Biała, Wisłoka, San, Wieprz). Istotny wzrost niskich przepływów w marcu stwierdzono także w przypadku Warty i Prosnicy.



Rys. 19. Przestrzenne rozmieszczenie trendów niskich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek Polski w wieloleciu 1951–2010.
Objaśnienia: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – istotny trend rosnący, 4 – istotny trend malejący, 5 – trend nieistotny, 6 – dziedzina przewagi istotnych trendów rosnących; statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

W kwietniu zanotowano istotne tendencje zmian w szeregach niskich przepływów w jedenastu rzekach badanej grupy. Tylko w jednym przypadku zidentyfikowany trend świadczył o spadku niskich przepływów w wieloleciu (Bystrzyca). Podobnie jak w poprzednich miesiącach, również w kwietniu większość rzek odwadniających północno-zachodnią część Polski charakteryzowała się wzrostem minimów przepływu w wieloleciu. Warto nadmienić, że uzyskane wyniki różnią się nieco od otrzymanych w toku badań nad wieloletnią zmiennością wiosennego odpływu z wybranych zlewni Polski (Piętka 2009). Wspomniana Autorka stwierdziła bowiem spadek udziału odpływu wiosennego (w miesiącach od lutego do marca) w skali wielolecia dla większości badanych rzek – co wskazywałoby na stopniowe zmniejszanie znaczenia wiosennych wezbrań roztopowych w sezonowej strukturze przepływu.

W maju, w pięciu rzekach badanego zbioru odnotowano malejące trendy w niskich przepływach. Tendencja do stopniowego spadku niskich przepływów w wieloleciu charakteryzowała część rzek płynących w południowej i południowo-zachodniej części Polski (Mała Panew, Bystrzyca, Bóbr, Soła, Kamienna). Trendy rosnące minimów przepływu zidentyfikowano natomiast w niektórych rzekach pobraża oraz w większości rzek odwadniających południowo-wschodni obszar Polski.

W czerwcu, malejące trendy w niskich przepływach uzyskano dla czterech rzek badanego zbioru, odwadniających różne regiony fizycznogeograficzne Polski (Bystrzyca, Soła, Pisa, Brda). Statystycznie istotne tendencje świadczące o wieloletnim wzroście minimów przepływu zarejestrowano natomiast ponownie w większości rzek przepływających przez północno-zachodnią i południowo-wschodnią część kraju oraz w przypadku Oławy i Biebrzy.

W lipcu, malejące trendy w szeregach niskich przepływów odnotowano dla czterech rzek odwadniających obszary górskie bądź wyżynne (Mała Panew, Bóbr, Soła, Nida). Wieloletnie tendencje rosnące minimów przepływu zidentyfikowano natomiast w części rzek przybrzeżnych i pojeziernych przepływających przez Pojezierze Pomorskie. Trendy rosnące w niskich przepływach lipca odnotowano również w przypadku: Oławy, Prosnicy, Sanu oraz Biebrzy.

Podobnie jak w poprzednim miesiącu, także w sierpniu tendencje malejące w minimach przepływu zanotowano w: Małej Panwi, Bobrze i Nidzie. Spadek wielkości niskich przepływów w wieloleciu zidentyfikowano również w Słupi oraz Pisie. Trendy rosnące w minimach miesięcznych przepływu odnotowano natomiast dla niektórych rzek płynących

w południowej (Oława, San) oraz północno-zachodniej części Polski (Ina, Wda, Wieprza, Słupia, Łupawa).

We wrześniu, zanotowano bardzo podobne do sierpniowych liczbę i kierunki trendów w przepływach niskich. Tendencję malejącą we wrześniowych minimach przepływu zidentyfikowano w części rzek odwadniających obszary wyżynne (Mała Panew, Nida, Pilica) oraz w Brdzie. Z kolei, trendy rosnące odnotowano w niektórych rzekach przymorskich i pojeziernych w północno-zachodniej Polsce (Ina, Wda, Wieprza, Łupawa). Podobne trendy wykryto w minimach przepływu września w trzech rzekach płynących w południowej części kraju (Nysa Kłodzka, Oława, San).

W październiku, malejące trendy w niskich przepływach zidentyfikowano jedynie w szeregach miesięcznych Małej Panwi oraz Brdy. Rozpatrując poszczególne regiony kraju, najczęściej tendencji rosnących w szeregach niskich przepływów zanotowano zaś w rzekach odwadniających obszary górskie i wyżynne południowo-wschodniej części Polski (Dunajec, Biała, San, Tanew, Wieprz). Rosnące trendy w minimach przepływu w październiku wykryto również w Oławie, Inie, Narwi oraz Wieprzy.

W listopadzie malejące tendencje w niskich przepływach zanotowano dla: Małej Panwi, Bobru, Brdy oraz Wdy. Trendy rosnące w minimach przepływów miesięcznych zidentyfikowano natomiast głównie w rzekach płynących w południowo-wschodniej (Biała, San, Wisłok, Wieprz) oraz północno-wschodniej części Polski (Narew, Biebrza). Rosnące tendencje w niskich przepływach listopadowych odnotowano ponadto dla: Oławy, Iny i Wieprzy.

W grudniu, podobnie jak w poprzednim miesiącu, zaobserwowano w badanej grupie istotny wzrost niskich przepływów głównie w rzekach odwadniających południowo-wschodnie (Dunajec, San, Wisłok, Wieprz) i północno-wschodnie (Narew, Biebrza) obszary Polski. Rosnące trendy minimów przepływów grudniowych zanotowano również w Oławie i Inie. Z kolei, malejące tendencje w miesięcznych minimach przepływu zidentyfikowano jedynie w przypadku Małej Panwi oraz Wdy.

W przestrzennym rozmieszczeniu istotnych trendów odnotowanych w niskich przepływach miesięcznych zarysowują się pewne prawidłowości regionalne. Można wyróżnić trzy obszary, które charakteryzują się zwiększoną liczbą rosnących trendów minimów miesięcznych przepływów. Najwięcej ich zanotowano w rzekach odwadniających północno-zachodni obszar Polski. Warto przy tym zwrócić uwagę, że znaczną liczbę trendów rosnących zidentyfikowano tutaj we wszystkich porach roku i niemal w każdym miesiącu od stycznia do września. Podobny kierunek zmian, ale w odniesieniu do niskich rocznych odpływów w tej części kraju w latach 1950–1971 zaobserwował Bartnik (2005). Zdaniem tego Autora, wzrastający

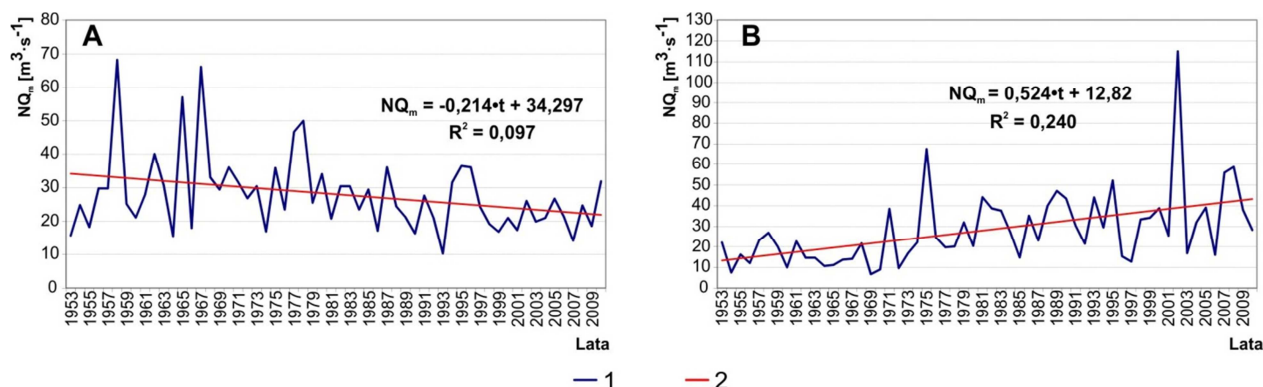
napływ morskich mas powietrza prowadził tu do systematycznego wzrostu wysokości opadów atmosferycznych, co skutkowało wzmożonym zasilaniem rzek. Wyniki badań dotyczących zagrożenia wystąpienia suszy hydrologicznej również wskazują, że Pobrzeża Bałtyku oraz Pojezierza Wschodniobałtyckie to jedyne regiony Polski, dla których nie zanotowano wzrostu frekwencji tego zjawiska w latach 80. i 90. XX wieku (Somorowska 2009). Było to najprawdopodobniej spowodowane dużą zasobnością wodną oraz znacznymi zdolnościami retencyjnymi tych regionów.

Znaczną liczbę rosnących tendencji minimów miesięcznych przepływów zidentyfikowano również w części rzek w Polsce południowo-wschodniej i północno-wschodniej. Najwięcej rosnących trendów w seriach przepływów niskich odnotowano w półroczu chłodnym: od listopada do marca. Niektóre rzeki karpackie oraz odwadniający obszar wyżynny Wieprz charakteryzował też wzrost minimów miesięcznych maja oraz czerwca. Warto przy tym zauważyć, że wieloletnia tendencja rosnąca niskich i średnich przepływów została już wcześniej udokumentowana w rzekach odwadniających północno-wschodnią część Polski. Była ona szczególnie wyraźna w wieloleciu 1971–1990 (Byczkowski, Mandes 1996).

Biorąc pod uwagę liczbę i kierunek statystycznie istotnych tendencji zmian niskich przepływów miesięcznych najbardziej interesującymi przypadkami, w analizowanym zbiorze rzek, są: Oława, Ina oraz San. Dla każdej z tych rzek odnotowano istotne trendy rosnące niskich przepływów we wszystkich miesiącach roku. Wydaje się, iż wzrost ten może być spowodowany postępującą antropopresją w ich zlewniach. Dla przykładu, Wrzesiński (2014) w badaniach dotyczących detekcji zmian reżimu odpływu polskich rzek zaliczył Oławę oraz Inę do grupy cieków, która wyróżnia się największą skalą przemian reżimu hydrologicznego na skutek działalności człowieka. Rzeki w tej grupie charakteryzują się spadkiem odpływu w dwudziestoleciu 1951–1970 oraz jego stopniowym wzrostem w latach 1971–1990. Właśnie w 1971 roku oddano do użytku kanał przerzutowy Nysa–Oława, który ma za zadanie przekierowanie części wód Nysy Kłodzkiej do Oławy (Stasiewicz 2002). Zlewnia Iny także odznacza się znacznym stopniem antropopresji, na który składają się między innymi: pobór wód rzecznych do celów irygacyjnych, zrzuty ścieków z okolicznych oczyszczalni oraz lokalizacja licznych małych elektrowni wodnych wzdłuż biegu tej rzeki (IMGW 2014).

Reżim hydrologiczny Sanu również jest w coraz większym stopniu przekształcany przez działalność antropogeniczną, a w szczególności przez gospodarkę wodną na zbiornikach retencyjnych (Fal i in. 1997; Rzętała 2017). Jak już wspomniano wcześniej, powyżej badanego przekroju w Lesku znajdują się wielozadaniowe sztuczne zbiorniki wodne

(Jez. Solińskie i Jez. Myczkowskie), które istotnie modyfikują ekstrema przepływów (Dy-nowska 1984).



Rys. 20. Przykłady statystycznie istotnych trendów niskich przepływów miesięcznych (NQ_m) w wieloleciu: A – trend malejący (Bóbr; niskie przepływy maja); B – trend rosnący (Biebrza; niskie przepływy lutego).

Objaśnienia: 1 – niski przepływ miesięczny [$m^3 \cdot s^{-1}$], 2 – linia trendu (na wykresie podano funkcję trendu oraz współczynnik determinacji: R^2); statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

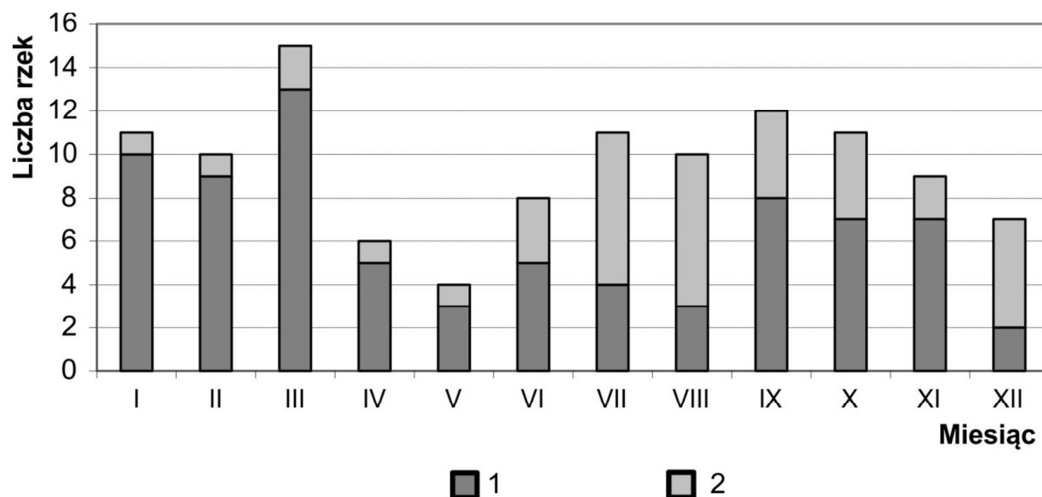
Najszybsze bezwzględne tempo spadku niskich miesięcznych przepływów w skali wielolecia zanotowano w przypadku Bobru i maja (rys. 20A). Współczynnik kierunkowy wyznaczonego trendu świadczy o tym, że niskie przepływy maja obniżały się w tej rzece każdego roku o $0,21 m^3 \cdot s^{-1}$. Natomiast najszybszy bezwzględny wzrost niskich miesięcznych przepływów wystąpił w Biebrzy i dotyczył lutego (rys. 20B). Przepływy niskie tego miesiąca wzrastały w badanym okresie wieloletnim w tempie $0,52 m^3 \cdot s^{-1} \cdot rok^{-1}$.

5.1.2.2. Trendy w szeregach przepływów średnich.

Statystycznie istotne tendencje w szeregach średnich miesięcznych przepływów zidentyfikowano w 114 przypadkach (zał. 3). Jest to zatem liczba znacznie mniejsza od uzyskanej dla ciągów niskich przepływów (patrz rozdz. 5.1.2.1.). Tutaj również większość istotnych trendów ma kierunek rosnący (76) i świadczy o wzroście średnich przepływów miesięcznych w badanym wieloleciu.

Podobnie jak w przypadku niskich przepływów, najwięcej istotnych statystycznie trendów zanotowano w szeregach średnich przepływów marca (rys. 21; zał. 3). Więcej niż co czwarta rzeka w analizowanym zbiorze (13 przypadków) charakteryzowała się rosnącym trendem średnich przepływów w tym miesiącu. Warto zauważyć, iż wielkość przepływu średniego jest wypadkową różnych form zasilania, w tym zasilania podziemnego i po-

wierzchniowego. Zależy zatem od relacji między podstawowymi składnikami bilansu wodnego: opadu atmosferycznego, parowania i stanu retencji (Bajkiewicz–Grabowska, Mikulski 2005). Wzrost średnich przepływów w marcu mógł być zatem spowodowany sygnalizowanym wcześniej wzrostem marcowych sum opadu atmosferycznego (Żmudzka 2009).



Rys. 21. Liczba statystycznie istotnych trendów w szeregach średnich przepływów w badanej grupie rzek w poszczególnych miesiącach roku.

Objaśnienia: 1 – statystycznie istotny trend rosnący, 2 – statystycznie istotny trend malejący; statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

Dużą liczbę rosnących trendów w średnich przepływach zanotowano również w styczniu oraz w lutym (odpowiednio 10 i 9 przypadków). Tendencja rosnąca średnich przepływów w wymienionych miesiącach może być związana z opisanym wcześniej wzrostem udziału sum opadów półrocza chłodnego oraz coraz częstszym występowaniem odwilży śródzimowych (np. Degirmendzić i in. 2004; Kozuchowski 2004ab).

Kolejnym miesiącem, który odznaczał się relatywnie dużą liczbą istotnych trendów w branych pod uwagę szeregach był wrzesień. Na dwanaście istotnych trendów, w przypadku ośmiu rzek zarejestrowano wzrost przepływu średniego. Prawidłowość tę zdają się potwierdzać wyniki badań przeprowadzonych przez Kępińską–Kasprzak (2015). Autorka wskazuje, że w wieloleciu 1951–2000 wrzesień był miesiącem, w którym coraz mniej notowano niżówek letnio-jesiennych i zjawisko to dominowało w dużej liczbie rzek Polski. Oznacza to zatem, że przepływy wrześniowe musiały wzrastać. Jednocześnie, najwięcej trendów malejących w szeregach przepływów średnich zanotowano w lipcu i sierpniu. Ta sama Autorka zauważyła, że sierpień jest jednym z tych miesięcy, w których zasoby wodne polskich rzek są bardzo ograniczone i coraz częściej pojawiają się w nim niżówki letnio-jesienne (2015).

Najmniej istotnych statystycznie trendów w szeregach przepływów średnich dotyczyło natomiast kwietnia i maja (odpowiednio 6 i 4 przypadki). W obu miesiącach odnotowano

po jednej rzece, która charakteryzowała się sukcesywnym spadkiem średnich przepływów w skali wielolecia (zał.3).

W przypadku rozkładu liczby i kierunków statystycznie istotnych trendów w szeregach średnich przepływów w poszczególnych półroczach można zauważyć podobne prawidłowości jak w odniesieniu do niskich przepływów (por. rozdz. 5.1.2.1; zał. 3). Liczby zidentyfikowanych istotnych tendencji zmian średnich przepływów są niemal identyczne w półroczu chłodnym (58 przypadków) i półroczu ciepłym (56 przypadków). Należy jednak zauważyć, że w pierwszym półroczu stwierdzono znacznie mniej istotnych malejących trendów w porównaniu do drugiego (odpowiednio: 12 i 26 przypadków). Jednocześnie, zidentyfikowano w nim więcej rosnących tendencji przepływów średnich (46 przypadków) niż w drugiej połowie roku (30 przypadków).

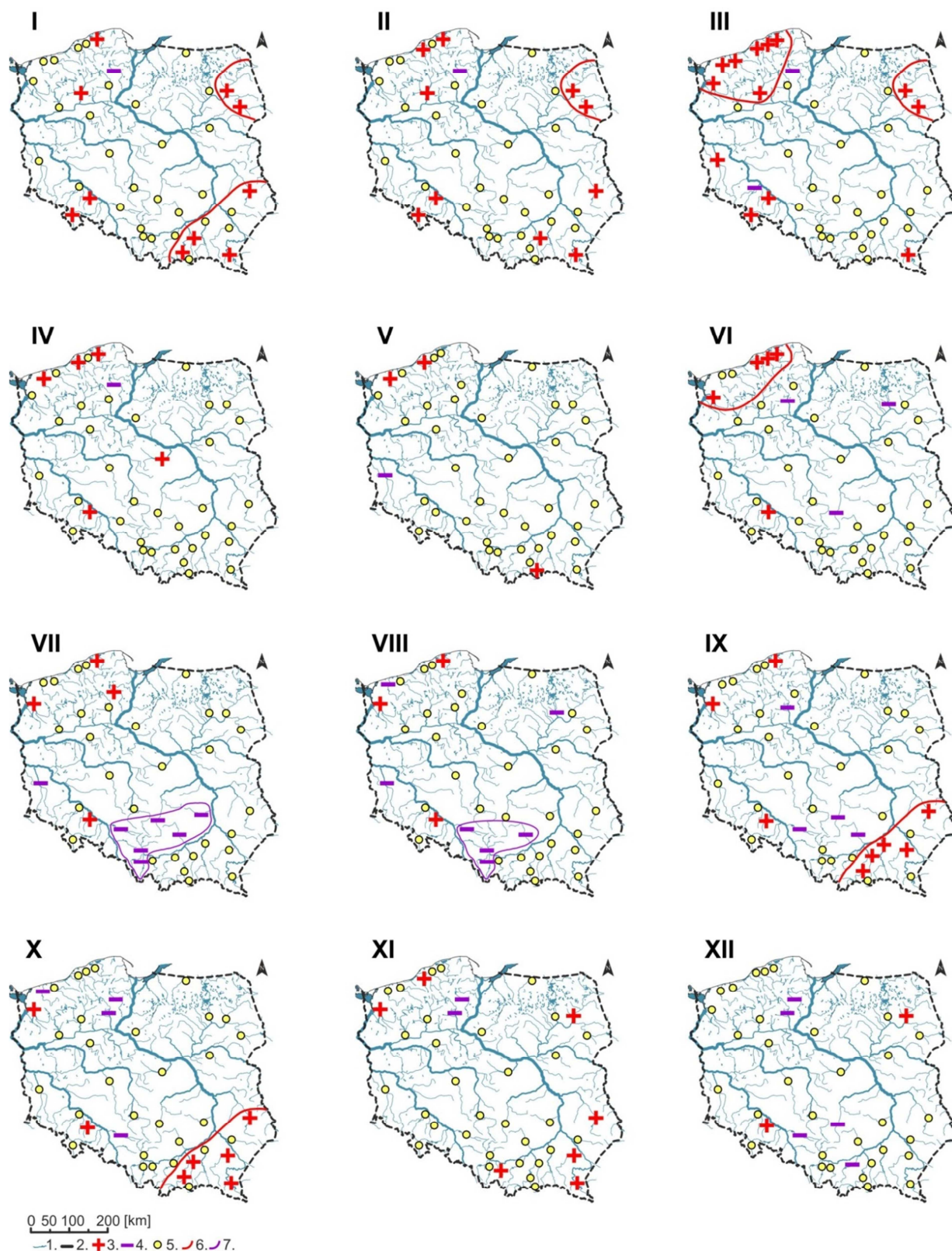
W styczniu oraz w lutym trendy rosnące w średnich przepływach zanotowano w rzekach w północno-wschodniej (Narew, Biebrza) oraz południowo-zachodniej części Polski (Nysa Kłodzka, Oława) (rys. 22). Statystycznie istotną tendencję wzrostu średnich przepływów zaobserwowano również w przypadku Wieprza oraz w niektórych rzekach karpaccich. Trendy rosnące zidentyfikowano także w średnich przepływach kilku rzek pojeziernych (Gwda, Łupawa, Wieprza). Tendencją malejącą średnich przepływów stycznia i lutego wyróżniła się jedynie Wda.

W marcu najwięcej trendów rosnących w szeregach średnich przepływów zanotowano w rzekach przymorskich i przepływających przez Pojezierze Pomorskie (Gwda, Ina, Rega, Parsęta, Wieprza, Słupia, Łupawa). Tendencje rosnące średnich przepływów zaobserwowano również w niektórych rzekach odwadniających południowo-zachodnią (Nysa Kłodzka, Oława, Bóbr) oraz północno-wschodnią część Polski (Narew, Biebrza). Trendy malejące średnich przepływów marcowych zidentyfikowano natomiast w Bystrzycy oraz we Wdzie.

W kwietniu zidentyfikowano jedynie pięć istotnych trendów w szeregach średnich przepływów. Tylko jeden z nich wskazuje na stopniowy spadek średnich przepływów w wieloleciu (Wda). Trendy rosnące zaobserwowano zaś w średnich przepływach Oławy i Bzury, a także w trzech rzekach przymorskich (Rega, Wieprza, Łupawa).

W maju zanotowano najmniej istotnych trendów w przepływach średnich. Rosnące tendencje uzyskano tylko w przypadku: Popradu, Regi oraz Wieprzy. Malejącym trendem w średnich przepływach majowych w wieloleciu charakteryzował się zaś Bóbr.

W czerwcu rosnące trendy w średnich przepływach odnotowano dla Oławy oraz niektórych rzek odwadniających Pojezierze Pomorskie (Ina, Wieprza, Słupia, Łupawa). W rozmieszczeniu rzek, dla których zidentyfikowano tendencje malejące w średnich przepływach



Rys. 22. Przestrzenne rozmieszczenie trendów średnich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek Polski w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – istotny trend rosnący, 4 – istotny trend malejący, 5 – trend nieistotny, 6 – dziedzina przewagi istotnych trendów rosnących, 7 – dziedzina przewagi istotnych trendów malejących; statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

czerwcowych nie zaobserwowano natomiast jakiegokolwiek porządku przestrzennego (Pilica, Pisa, Brda).

W lipcu zanotowano przewagę statystycznie istotnych trendów malejących nad rosnącymi. W rozmieszczeniu tendencji malejących średnich przepływów lipcowych można zaobserwować pewne prawidłowości przestrzenne. Najwięcej takich trendów zidentyfikowano w rzekach płynących w południowej części Polski i odwadniających obszary wyżynne i górskie (Mała Panew, Przemsza, Soła, Nida, Kamienna, Pilica). Tendencję świadczącą o spadku średnich przepływów lipcowych w wieloleciu wykryto również w przypadku Bobru. Podobnie jak w poprzednim miesiącu, trendy rosnące w szeregach średnich przepływów lipca zanotowano w Oławie oraz w trzech rzekach płynących w północno-zachodniej części Polski (Ina, Wda, Łupawa).

W sierpniu w szeregach średnich przepływów także odnotowano większą liczbę trendów malejących niż rosnących. Analogicznie jak w lipcu, tendencje malejące w średnich przepływach sierpniowych zaobserwowano głównie w rzekach odwadniających południową (Mała Panew, Przemsza, Soła, Nida) oraz południowo-zachodnią część Polski (Bóbr). Trendy malejące w średnich przepływach zidentyfikowano również dla Pisy oraz Regi. Wieloletnie tendencje wzrostu średnich przepływów sierpniowych zaobserwowano natomiast w: Oławie, Inie i Łupawie.

We wrześniu najwięcej trendów rosnących w średnich przepływach zanotowano w rzekach odwadniających obszary karpackie (Dunajec, Biała, Wisłoka, Wisłok) oraz w Wieprzu. Pozostałe tendencje rosnące zaobserwowano w: Oławie, Inie oraz Łupawie. Spadek w średnich przepływach września ponownie zidentyfikowano w niektórych rzekach przepływających przez obszary wyżynne w południowej Polsce (Mała Panew, Nida, Pilica). Tendencją malejącą w średnich przepływach wrześniowych charakteryzowała się również Brda.

Podobnie jak w poprzednim miesiącu, tak i w październiku znaczną liczbę rosnących trendów w średnich przepływach odnotowano w rzekach karpackich (Dunajec, Biała, San, Wisłok) oraz w Wieprzu, Oławie i Inie. Tendencję malejącą średnich przepływów październikowych zidentyfikowano natomiast w Małej Panwi oraz w trzech rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie (Brda, Wda, Rega).

Listopad jest kolejnym miesiącem, w którym trendy rosnące w średnich przepływach zanotowano w kilku rzekach górskich (Skawa, San, Wisłok) i w przypadku Wieprza. Tendencję rosnącą średnich przepływów listopadowych zidentyfikowano również w wieloletnich szeregach: Iny, Biebrzy oraz Wieprzy. Istotne trendy malejące odnotowano natomiast w dwu rzekach pojeziernych (Brda, Wda).

W grudniu zaobserwowano natomiast przewagę istotnych trendów malejących nad rosnącymi. Wieloletnią tendencję rosnącą w średnich przepływach grudniowych zidentyfikowano w przypadku: Oławy i Biebrzy. Istotny spadek średnich przepływów grudniowych w wieloleciu wykryto natomiast w seriach przepływów średnich: Brdy, Wdy, Małej Panwi, Raby i Wieprza.

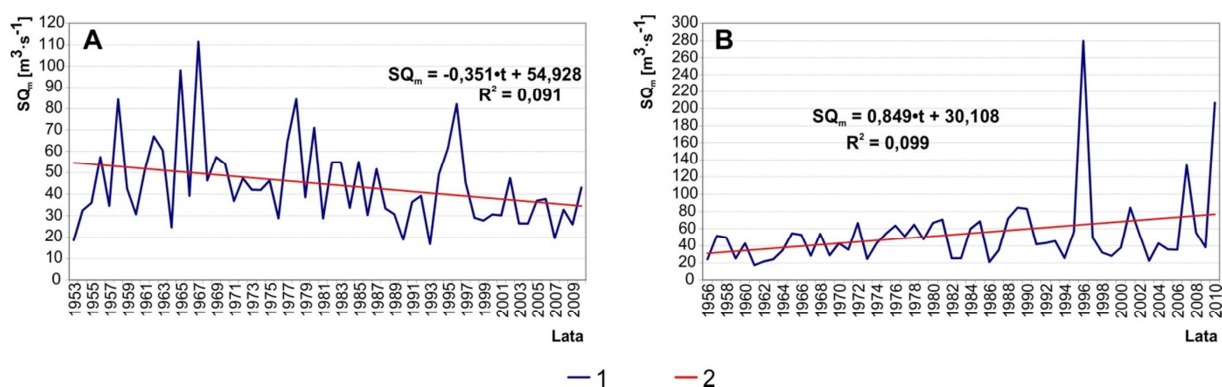
Podsumowując, w rozmieszczeniu rzek charakteryzujących się istotnymi tendencjami w macierzy średnich przepływów miesięcznych można dostrzec pewne prawidłowości przestrzenne. Podobnie jak w przypadku niskich przepływów, najczęściej trendów rosnących w szeregach przepływów średnich zidentyfikowano w rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie. Największą liczbę trendów rosnących w tej części Polski zarejestrowano przy tym w marcu oraz w czerwcu. Rosnące tendencje średnich przepływów w tych miesiącach były najprawdopodobniej efektem wzrostu sum opadów atmosferycznych (Żmudzka 2009; Marosz i in. 2011).

Relatywnie dużo rzek odwadniających południowo-wschodnie obszary Polski (Beski dy, Wyżyna Lubelska) charakteryzowała się dodatnimi tendencjami w przypadku średnich przepływów: stycznia, września oraz października. Warto podkreślić, że w końcu ubiegłego wieku na obszarze kraju zanotowano wspomniany już wcześniej wzrost sum opadów w miesiącach jesiennych, przy czym największy dotyczył opadów wrześniowych. Mogło to mieć wpływ na wzrost średnich przepływów rzecznych (Degirmendźić i in. 2004; Kożuchowski 2004b).

Pewne prawidłowości przestrzenne w rozmieszczeniu istotnych trendów średnich przepływów miesięcznych w badanym zbiorze rzek zdają się częściowo potwierdzać wyniki uzyskane wcześniej przez Wrześnińskiego (2009b) dla serii średnich przepływów rocznych. Autor ten zanotował w tych szeregach najczęściej statystycznie istotnych trendów rosnących właśnie w przypadku rzek odwadniających Pojezierze Pomorskie, a także w kilku rzekach karpackich oraz w systemie Narwi. Trendy malejące wykryto natomiast głównie w zachodniej części dorzeczy: Wisły i Odry (z wyłączeniem górnych odcinków górskich dopływów Odry). Należy także zauważyć, że relatywnie dużą liczbę istotnych trendów malejących zidentyfikowano w lipcu i sierpniu. Tendencję spadkową średnich przepływów w tych letnich miesiącach zanotowano głównie w rzekach odwadniających obszary wyżynne i górskie płynące w południowej części Polski.

W badanej grupie warto zwrócić uwagę na: Oławę, Łupawę oraz Inę. Dla wymienionych rzek zidentyfikowano największą liczbę istotnych statystycznie, rosnących trendów w seriach średnich przepływów miesięcznych (odpowiednio: 10, 8 i 7 przypadków). Należy

przypomnieć, że Oława i Ina wyróżniały się również bardzo dużą liczbą wieloletnich tendencji rosnących w szeregach niskich przepływów miesięcznych. Warto też zauważyć, że ciekie te zostały przez Wrześnińskiego (2014) zaliczone do grupy rzek, które cechuje najwyższy stopień zmian reżimu przepływu na skutek działalności człowieka. Gospodarka wodna wpływa zatem bardzo mocno na wieloletnie zmiany zachodzące w sezonowym rozmieszczeniu odpływu z ich zlewni.



Rys. 23. Przykłady statystycznie istotnych trendów średnich przepływów miesięcznych (SQ_m) w wieloleciu: A – trend malejący (Bóbr; średnie przepływy maja); B – trend rosnący (Dunajec; średnie przepływy września).

Objaśnienia: 1 – średni przepływ miesięczny [$m^3 \cdot s^{-1}$], 2 – linia trendu (na wykresie podano funkcję trendu oraz współczynnik determinacji: R^2); statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

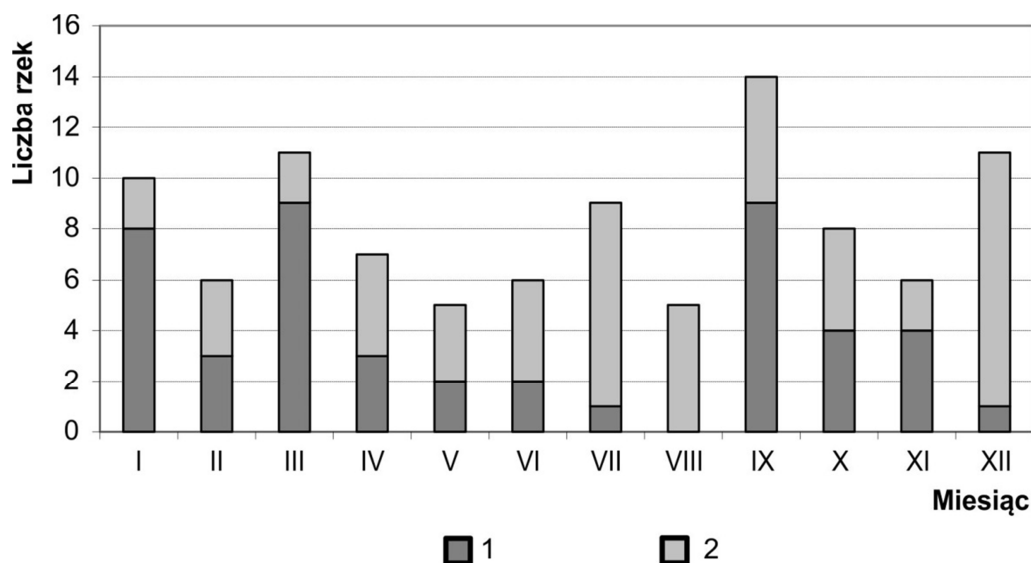
W analizowanym zbiorze rzek interesującymi przypadkami są również: Wda, Brda oraz Mała Panew. Rzeki te odznaczały się największą liczbą istotnych trendów malejących w seriach średnich przepływów miesięcznych. W przypadku Wdy tendencje malejące wystąpiły w szeregach przepływów aż siedmiu miesięcy. Dla Małej Panwi oraz Brdy trendy takie zidentyfikowano w przypadku pięciu miesięcy.

Podobnie jak w szeregach przepływów niskich, najszybsze bezwzględne tempo spadku średnich przepływów zanotowano w Bobrze w maju (rys. 23A; por. rys. 20A). Średnie roczne tempo spadku SQ_m wyniosło w tej rzece $0,35 m^3 \cdot s^{-1} \cdot rok^{-1}$. Z kolei, najszybszym w wieloleciu bezwzględnym wzrostem średnich przepływów charakteryzował się Dunajec we wrześniu (rys. 23B). Współczynnik kierunkowy zidentyfikowanego trendu wskazuje na przyrost przepływu średniego miesięcznego w tempie $-0,85 m^3 \cdot s^{-1} \cdot rok^{-1}$.

5.1.2.3. Trendy w szeregach przepływów wysokich.

W szeregach wysokich przepływów miesięcznych zarejestrowano łącznie 98 istotnych statystycznie trendów (zał. 3). Jest to zatem liczba zbliżona do stwierdzonej w przypadku

przepływów średnich (patrz rozdz. 5.1.2.2.). Warto jednak zwrócić uwagę, że w szeregach przepływów wysokich trendy malejące nieznacznie przeważają nad trendami rosnącymi (odpowiednio: 52 i 46 przypadków).

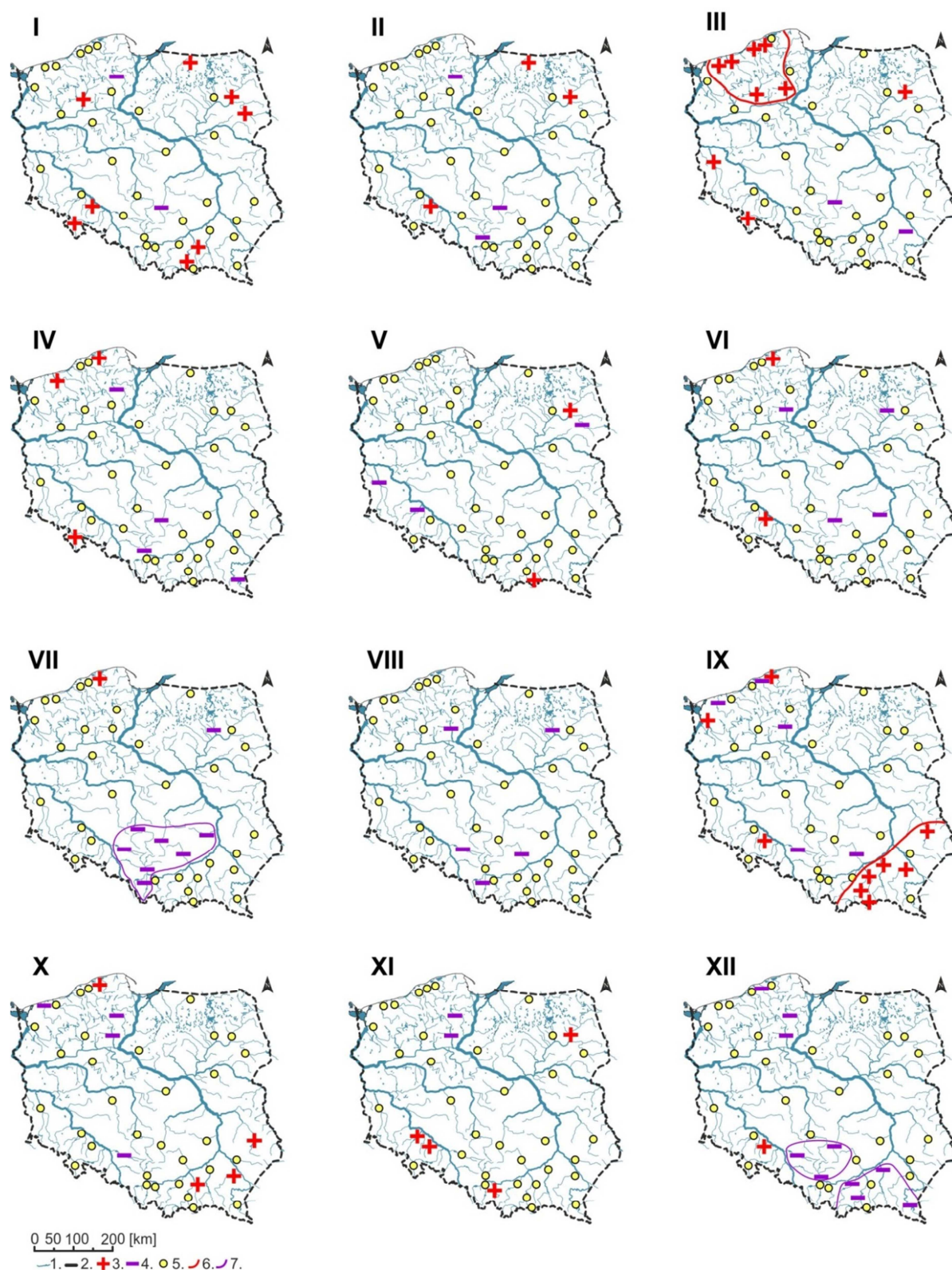


Rys. 24. Liczba statystycznie istotnych trendów w szeregach wysokich przepływów w badanej grupie rzek w poszczególnych miesiącach roku.

Objaśnienia: 1 – statystycznie istotny trend rosnący, 2 – statystycznie istotny trend malejący; statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

W układzie sezonowym, najwięcej istotnych trendów rosnących zarejestrowano w szeregach maksimów: marcowych i wrześniowych (po 9 przypadków) oraz styczniowych (8 przypadków) (rys. 24). W marcu zdecydowanie najwięcej trendów rosnących maksimów przepływów zaobserwowano w rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie. Wzrost wysokich przepływów wrześniowych był natomiast szczególnie widoczny w rzekach południowej Polski (zał. 3). W grupie tej dominowały rzeki karpackie. Warto zauważyć, że wielkość wysokich przepływów jest uzależniona głównie od powierzchniowych form alimentacji rzek (Bajkiewicz–Grabowska, Mikulski 2005). Obszarowy wzrost maksimów przepływów marcowych i wrześniowych może być zatem efektem zwiększającego się w kolejnych latach zasilania rzek pochodzącego bezpośrednio z opadów atmosferycznych (Kozuchowski 2004b; Żmudzka 2009).

W układzie sezonowym warto również zwrócić uwagę na rozkład liczby istotnych trendów malejących w szeregach maksimów miesięcznych. Zdecydowanie najwięcej tych tendencji zanotowano w grudniu i lipcu (odpowiednio: 10 i 8 przypadków). Należy przy tym podkreślić, że w ich rozmieszczeniu widoczne są wyraźne prawidłowości przestrzenne. Istotne tendencje malejące zaobserwowano bowiem głównie w rzekach odwadniają-



Rys. 25. Przestrzenne rozmieszczenie trendów wysokich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek Polski w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – istotny trend rosnący, 4 – istotny trend malejący, 5 – trend nieistotny, 6 – dziedzina przewagi istotnych trendów rosnących, 7 – dziedzina przewagi istotnych trendów malejących; statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

cych obszary wyżynne i górskie w południowej oraz południowo-wschodniej części Polski (por. rys. 25).

Liczba zidentyfikowanych i istotnych statystycznie trendów maksimów przepływów jest zbliżona w obu półroczach (w chłodnym 51 przypadków, w ciepłym 47 przypadków) (zał. 3). W półroczu chłodnym wykryto mniej trendów malejących w porównaniu do półrocza ciepłego – różnica ta nie jest jednak duża (odpowiednio: 23 i 29 przypadków). W pierwszym półroczu roku hydrologicznego potwierdzono natomiast statystyczną istotność większej liczby rosnących tendencji w szeregach maksimów (28 przypadków) niż w drugiej połowie roku (18 przypadków).

W styczniu zanotowano relatywnie dużą liczbę istotnych trendów w maksimach przepływów (10 przypadków). Zdecydowana większość z nich jest rosnąca (8 przypadków) (rys. 25). Tendencje rosnące w maksymalnych przepływach zaobserwowano w rzekach odwadniających różne regiony fizycznogeograficzne Polski. Wzrost maksimów przepływów w wieloleciu zidentyfikowano zarówno w dorzeczu górnej Odry (Nysa Kłodzka, Oława) oraz górnej Wisły (Dunajec, Biała), jak i w północno-wschodniej (Narew, Biebrza, Łyna) oraz północnej części kraju (Gwda). Trendy malejące w maksymalnych przepływach odnotowano jedynie dla Pilicy i Wdy.

W lutym wykryto jedynie sześć istotnych trendów. Połowa zidentyfikowanych tendencji wskazuje na systematyczny wzrost maksimów przepływu w wieloleciu (Oława, Biebrza, Łyna). Podobnie jak w styczniu, trendy malejące w maksymalnych przepływach lutego odnotowano natomiast dla Wdy oraz dwóch rzek przepływających przez obszar wyżynny (Przemsza, Pilica).

Jak już wspomniano, w marcu zidentyfikowano stosunkowo dużą liczbę istotnych trendów w szeregach maksimów przepływów. Większość tendencji rosnących wykryto w rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie (Gwda, Brda, Rega, Parsęta, Wieprza, Słupia). Trendy rosnące w maksymalnych przepływach zanotowano także dla: Nysy Kłodzkiej, Bobru oraz Biebrzy. Spadek maksimów marcowych zaobserwowano zaś w przypadku Pilicy i Wisłoka.

W kwietniu odnotowano istotne trendy w wieloletnich szeregach wysokich przepływów jedynie w siedmiu rzekach. Rosnące tendencje maksimów kwietniowych zidentyfikowano w: Nysie Kłodzkiej, Redzie i Łupawie. Trendy malejące wykryto natomiast w maksymalnych przepływach kwietnia: Przemszy, Sanu, Pilicy oraz Wdy.

W maju zidentyfikowano najmniej istotnych statystycznie trendów w przepływach wysokich. Rosnące tendencje maksimów przepływów majowych zanotowano jedynie

dla Popradu i Biebrzy. Trendy malejące, w maksymalnych przepływach, zaobserwowano z kolei w: Bystrzycy, Bobrze oraz Narwi.

W czerwcu również odnotowano relatywnie niewielką liczbę istotnych trendów w seriach maksymalnych przepływów miesięcznych analizowanej grupy rzek. Wzrost czerwcowych maksimów przepływów w wieloleciu zaobserwowano jedynie w Oławie i Łupawie. Trendy malejące w maksymalnych przepływach czerwca zidentyfikowano zaś w: Kamiennej, Pilicy, Pisy oraz w Brdzie.

W lipcu zanotowano dziewięć istotnych trendów. Wzrost maksimów przepływów lipcowych zidentyfikowano tylko w przypadku Łupawy. W rozmieszczeniu trendów malejących w maksymalnych przepływach lipca można zauważyć prawidłowości przestrzenne. Spadek maksimów przepływów lipcowych jest szczególnie widoczny w rzekach płynących w południowej Polsce i odwadniających obszary wyżynne (Mała Panew, Warta, Przemsza, Nida, Kamienna, Pilica) oraz górskie (Soła). Trend malejący w maksymalnych przepływach lipca wykryto również w serii Pisy.

Podobnie jak w maju, także w sierpniu zanotowano jedynie pięć istotnych trendów w szeregach maksymalnych przepływów. Wszystkie trendy wskazują na spadek maksimów przepływów sierpniowych w wieloleciu. Tendencje takie odnotowano w niektórych rzekach południowej Polski (Mała Panew, Soła, Nida) oraz w Pisie i Wdzie.

W ujęciu regionalnym, najwięcej istotnych trendów rosnących w maksymalnych przepływach wrześniowych odnotowano w rzekach w południowo-wschodniej Polski, w tym w ciekach karpackich (Poprad, Dunajec, Biała, Wisłoka, Wisłok) oraz w Wieprzy. Wzrost maksimów przepływu we wrześniu zidentyfikowano również dla: Oławy, Iny i Łupawy. Trendy malejące w maksymalnych przepływach wrześniowych zaobserwowano w kilku rzekach pojeziernych i przymorskich (Brda, Rega, Słupia) oraz wyżynnych (Mała Panew, Nida).

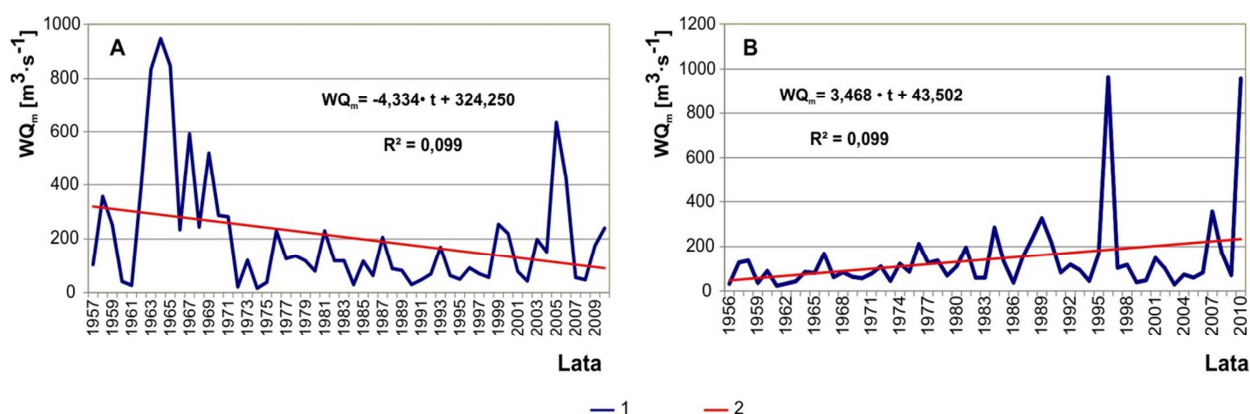
W październiku istotny wzrost maksymalnych przepływów zanotowano w części rzek przepływających w południowo-wschodniej części Polski (Biała, Wisłok, Wieprz) oraz w Łupawie. Trendy malejące maksimów przepływów październikowych zidentyfikowano natomiast w niektórych rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie (Brda, Wda i Rega) oraz w Małej Panwi.

W listopadzie odnotowano jedynie sześć istotnych trendów. Wzrost maksimów przepływów listopadowych stwierdzono w Oławie, Bystrzycy, Sole oraz w Biebrzy. Tendencje malejące w maksymalnych przepływach listopada zaobserwowano natomiast w dwóch rzekach przepływających przez Pojezierze Pomorskie (Brda, Wda).

W grudniu niemal wszystkie zidentyfikowane trendy w szeregach maksymalnych przepływów miesięcznych były malejące. Spadek maksimów przepływów grudniowych zaobserwowano w trzech regionach Polski. Tendencje te zanotowano w rzekach karpackich (Raba, Dunajec, Wisłoka, San) oraz w ciekach odwadniających obszary wyżynne (Mała Panew, Przemsza, Pilica) i Pojezierze Pomorskie (Brda, Wda, Słupia). Wzrost maksimów przepływów grudnia w wieloleciu wykryto jedynie dla Oławy.

Podsumowując, podobnie jak w przypadku niskich i średnich przepływów miesięcznych, najwięcej trendów rosnących w maksimach przepływów miesięcznych zanotowano w marcu. Należy jednak zauważyć, że wzrost maksymalnych przepływów zaobserwowano głównie w rzekach odwadniających północno-zachodnią część kraju. Podobieństwo w przestrzennym rozmieszczeniu istotnych tendencji w seriach średnich i maksymalnych przepływów jest również widoczne w: lipcu, sierpniu oraz we wrześniu. W szeregach średnich i wysokich przepływów lipcowych oraz sierpniowych zanotowano natomiast istotny spadek i dotyczył on większości rzek wyżynnych w południowej Polsce. Z kolei we wrześniu zaobserwowano wzrost średnich i maksymalnych przepływów w dużej liczbie rzek odwadniających południowo-wschodnią część kraju.

Najwięcej istotnych trendów rosnących w maksimach przepływów miesięcznych zanotowano w przypadku: Oławy (6 miesięcy), Biebrzy i Łupawy (po 5 miesięcy). Należy przypomnieć, że w przypadku Oławy i Łupawy zidentyfikowano największą liczbę rosnących trendów również w odniesieniu do średnich przepływów miesięcznych.



Rys. 26. Przykłady statystycznie istotnych trendów wysokich przepływów miesięcznych (WQ_m) w wieloleciu: A – trend malejący (Wisłok; wysokie przepływy marca); B – trend rosnący (Dunajec; wysokie przepływy września).

Objaśnienia: 1 – wysoki przepływ miesięczny [m³·s⁻¹]; 2 – linia trendu (na wykresie podano funkcję trendu oraz współczynnik determinacji: R²); statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna-Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

Najwięcej istotnych trendów malejących w seriach maksymalnych przepływów miesięcznych wykryto natomiast w Pilicy. Spadek maksimów przepływów odnotowano tutaj aż w siedmiu miesiącach. Relatywnie dużo malejących trendów w maksymalnych przepływach zidentyfikowano także w przypadku Brdy i Wdy (6 miesięcy) oraz Małej Panwi (5 miesięcy). Warto zauważyć, że rzeki te odznaczały się również dużą liczbą malejących tendencji w szeregach średnich przepływów. Wyniki badań przeprowadzonych przez Wrzeńskiego (2014), wskazują, że rzeki te należą do grupy cieków Polski, cechującej się relatywnie małymi zmianami warunków przepływu w wieloletniu. W dwudziestoleciu 1961–1980 zlewnie te wyróżniał wzrost odpływów rocznych. Jednak w latach 1983–2002 charakteryzowały się one sukcesywnym spadkiem odpływu, szczególnie dużym w miesiącach na początku roku hydrologicznego (listopad, grudzień).

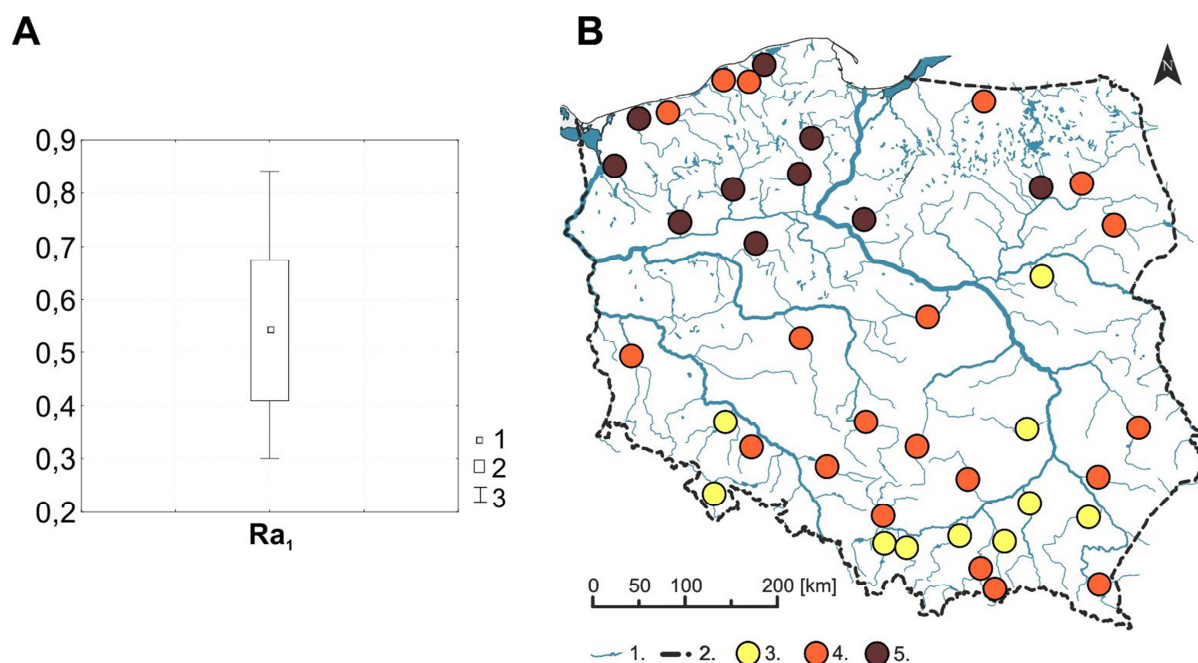
Najniższy i najwyższy współczynnik kierunkowy trendów w maksimach miesięcznych przepływów zidentyfikowano w grupie cieków karpackich (rys. 26AB). Najszybszym bezwzględnym tempem spadku wysokich przepływów odznaczał się w tej grupie Wisłok w marcu ($-4,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Z kolei, najszybszy bezwzględny wzrost charakteryzował wysokie przepływy Dunajca we wrześniu – $3,47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. W obu przypadkach warto zwrócić uwagę na fakt, że siła i kierunek obu trendów są mocno zdeterminowane dużymi wezbraniami na początku i końcu szeregów. Nakazuje to dużą ostrożność przy interpretacji tego rodzaju tendencji.

5.1.3. Bezwładność w szeregach średnich przepływów miesięcznych.

Ocena stopnia bezwładności w szeregach czasowych średnich przepływów miesięcznych może zostać przeprowadzona w oparciu o analizę pierwszego współczynnika autokorelacji oraz liczby istotnych współczynników. Pierwszy współczynnik autokorelacji umożliwia ocenę siły inercji krótkookresowej (z miesiąca na miesiąc). Liczba istotnych współczynników pozwala natomiast dokonać oceny trwałości inercji, a przy pewnych założeniach może również służyć do identyfikacji rytmów.

Wyniki statystyki testowej Boxa–Ljunga (na poziomie $\alpha=0,05$) potwierdziły statystyczną istotność pierwszych współczynników autokorelacji w przypadku serii średnich miesięcznych przepływów uzyskanych dla wszystkich analizowanych rzek. Większość obliczonych współczynników świadczyła o przeciętnej sile inercji krótkookresowej (rys. 27A).

Pierwsze współczynniki autokorelacji zmieniały się w zakresie od 0,30 (Skawa) do 0,84 (Pisa), przy czym połowa z nich mieściła się w przedziale 0,41–0,67. Położenie przeciętnej w badanej próbie, jak i szerokość zakresu wartości nieodstających dowodzi, że rozkład obliczonych współczynników autokorelacji w badanej próbce rzek jest zbliżony do symetrycznego.



Rys. 27. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) pierwszego współczynnika autokorelacji (Ra_1) średnich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek w wieloletniu 1951–2010.

Objaśnienia: A: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających; B: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa; Pierwszy współczynnik autokorelacji średnich przepływów miesięcznych (Ra_1): 3 – słaba siła inercji (0,413 i mniejsze), 4 – przeciętna siła inercji (0,414–0,672), 5 – silna siła inercji (0,673 i większe).

Granice przedziałów klasowych, na diagramie prezentującym przestrzenne rozmieszczenie pierwszych współczynników autokorelacji średnich przepływów miesięcznych, ustalono na podstawie miar pozycyjnych rozkładu (kwartyle). Każdy Ra_1 mniejszy od pierwszego kwartyla ($X_{k1}=0,413$) uznano za granicę słabej i przeciętnej siły inercji krótkookresowej średnich przepływów miesięcznych. Pierwszy współczynnik autokorelacji zawierający się w przedziale międzykwartyłowym odzwierciedla inercję przeciętną. Z kolei, Ra_1 większe od trzeciego kwartyla ($X_{k3}=0,673$) dowodzi dużej siły inercji krótkookresowej średnich przepływów miesięcznych.

Analiza wielkości pierwszych współczynników autokorelacji pozwala zauważyć pewne prawidłowości przestrzenne (rys. 27B). Zdecydowanie „najślabszą pamięcią krótkookre-

sową” odznaczają się rzeki południowej Polski. Najniższe Ra_1 uzyskano dla średnich przepływów miesięcznych większości rzek górskich o reżimie niwalno–pluwialnym bądź pluwialno–niwalnym (Sudety i Przedgórze Sudeckie, Karpaty i Podkarpacie). Warto zauważyć, iż rzeki tych regionów odznaczają się jednocześnie relatywnie małą inercją w szeregach średnich odpływów podziemnych (Tomaszewski 2001). Bezwładność odpływu podziemnego jest zdecydowanie najniższa w regionie Karpat fliszowych, gdzie poziomy wodonośne drenowane przez rzeki są zwykle mało zasobne, a reżim ich wydajności charakteryzuje się znaczną zmiennością czasową i zróżnicowaniem przestrzennym. Wydaje się zatem, że w obszarach górskich, a w szczególności w Karpatach, zmienność odpływu, w ujęciu sezonowym, jest determinowana głównie przez czynniki atmosferyczne (pogodowe i klimatyczne), przy czym największy wpływ ma sezonowe rozmieszczenie i wysokość opadów atmosferycznych. Zdecydowanie mniejsze znaczenie mają warunki hydrogeologiczne, w tym wielkość zasilania podziemnego oraz okresowe zmiany stanu retencji (Jokiel, Tomalski 2017).

Największą bezwładnością krótkookresową średnich miesięcznych przepływów charakteryzują się natomiast rzeki odwadniające północno-zachodni obszar Polski, a w szczególności rzeki Pojezierza Pomorskiego. Wysoki poziom inercji cechował również średnie przepływy niektórych rzek Pojezierzy: Mazurskiego (Pisa), Chełmińsko-Dobrzyńskiego (Drwęca) oraz Wielkopolskiego (Wełna). Warto jednocześnie zaznaczyć, że najwyższe pierwsze współczynniki autokorelacji ($Ra_1 > 0,80$) uzyskano dla rzek posiadających w swym systemie jeziora przepływowe (Pisa, Drawa, Wda). Wydaje się, że duża bezwładność średniego przepływu rzek odwadniających obszary północnej i północno-zachodniej Polski jest determinowana głównie przez warunki hydrogeologiczne oraz obecność w ich zlewniach jezior przepływowych i zagłębień bezodpływowych (Borowiak, Barańczuk 2007; Marszelewski 2007). Równocześnie, wyniki badań przeprowadzonych przez Bartnika i Jokiel (1998) wskazują, że pierwszy współczynnik autokorelacji w seriach średnich przepływów miesięcznych polskich rzek istotnie koreluje ze współczynnikiem zasilania podziemnego, który jest miarą powszechnie uznawaną za estymator zdolności retencyjnej zlewni. Zważywszy, że badane w prezentowanej rozprawie rzeki pojezierne odwadniają przeważnie rozległe obszary sandrowe, zbudowane z dobrze przepuszczalnych utworów fluwioglacjalnych oraz cechują się dużą jeziornością, uzyskane w ich przypadku wysokie współczynniki autokorelacji potwierdzają fakt, że możliwości retencyjne ich zlewni są duże (Graf 2017), a odpływ cechuje się dużą inercją i stabilnością w czasie.

Interesujące wnioski płyną również z analizy istotności współczynników autokorelacji obliczonych przy kolejnych przesunięciach szeregu średnich miesięcznych przepływów.

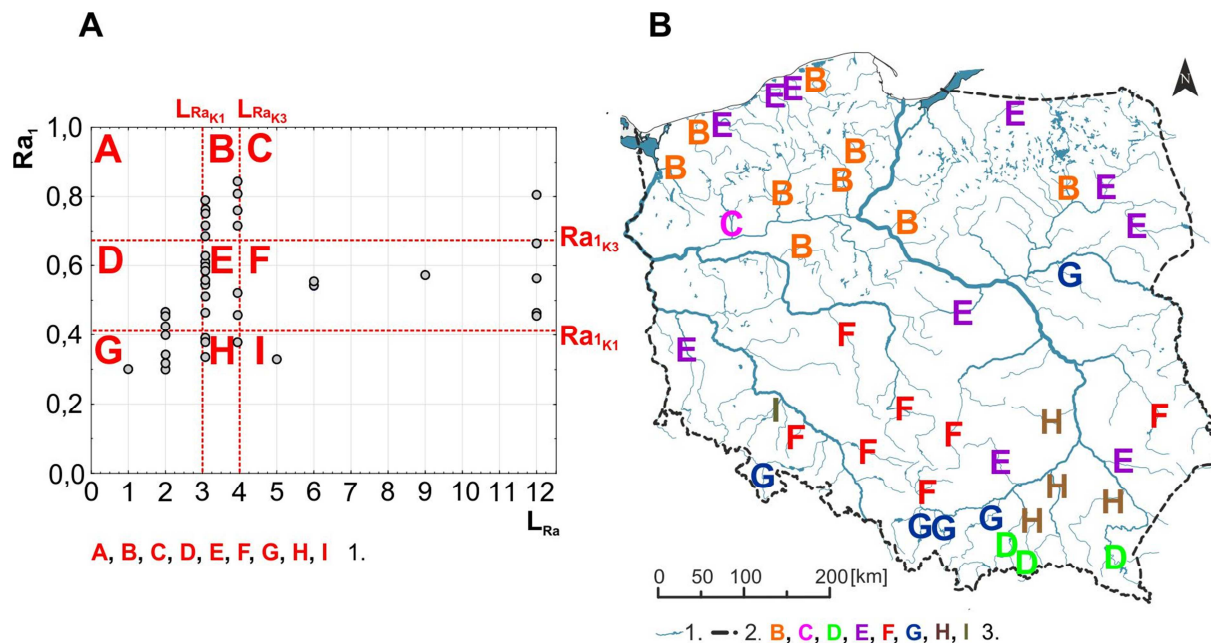
Liczbę statystycznie istotnych Ra można traktować jako estymator trwałości inercji, a zatem długości „pamięci długookresowej”. W prezentowanej pracy dla każdej badanej rzeki obliczono współczynniki autokorelacji średnich miesięcznych przepływów przy przesunięciach od jednego do dwunastu. Przy każdym kolejnym przesunięciu szeregów czasowych, jako miarę istotności tych współczynników przyjmowano wartość podwojonego błędu standardowego (Tomaszewski 2001, 2012).

Dla połowy rzek badanego zbioru obliczone współczynniki autokorelacji przepływów średnich miesięcznych Ra były istotne statystycznie przez kolejne trzy lub cztery miesiące. W analizowanej grupie taką pamięć długookresową można uznać za przeciętną. Rozkład liczby istotnych współczynników autokorelacji odznaczał się w zbiorze silną asymetrią dodatnią. Zdecydowała o tym duża liczba istotnych współczynników w przypadku pięciu rzek: Oławy, Małej Panwi, Przemszy, Wieprza i Drawy. W przypadku tych cieków wszystkie obliczone współczynniki autokorelacji (12) były statystycznie istotne, a zatem przepływy miesięczne tych rzek cechowały się wyjątkowo długą inercją.

W badanym zbiorze rzek Polski podjęto próbę wyodrębnienia różnych grup cechujących się względnym podobieństwem charakteru bezwładności w szeregach średnich miesięcznych przepływów. Podstawą wydzielenia takich grup był wykres ukazujący współzmiennosc pierwszego współczynnika autokorelacji oraz liczby istotnych statystycznie współczynników Ra (rys. 28A). Na wykresie poprowadzono linie dla wartości pierwszych i trzecich kwartyli. Linie te wyznaczyły dziewięć pól, w których wartości obu zmiennych wskazują grupy rzek o podobnej inercji średnich przepływów miesięcznych. Biorąc pod uwagę granice wyznaczonych pól, przepływy rzek mogą charakteryzować się dużą, przeciętną i małą inercją krótkookresową oraz długą, przeciętną i krótką inercją długookresową.

Do typu B należy zaliczyć dziewięć rzek z badanego zbioru, odwadniających Pojezierza: Pomorskie, Mazurskie oraz Wielkopolskie (rys. 28B). W grupie tej pierwszy współczynnik autokorelacji średnich miesięcznych przepływów przekracza 0,673 – inercja krótkookresowa jest zatem duża. Jednocześnie, liczba istotnych współczynników zidentyfikowanych w kolejnych miesiącach waha się od trzech do czterech, więc inercję długookresową można uznać za przeciętną. Rzeki w tej grupie charakteryzuje zatem „dobra”, ale pod względem długości „przeciętna pamięć” o średnich przepływach miesięcznych. Duża, krótkotrwała bezwładność przepływu rzek pojeziernych jest w głównej mierze spowodowana ich dużymi możliwościami retencyjnymi, i to zarówno w odniesieniu do retencji powierzchniowej, jak i podziemnej. Determinantą może być również występowanie wielu jezior (w tym przepływowych) (Jokiel 1994). Natomiast pamięć długotrwała tych rzek jest przeciętna, zapewne

wskutek niezbyt dużych zasobów wód podziemnych, które są jednocześnie intensywnie drenowane przez gęstą sieć hydrograficzną i intensywną ewapotranspirację w obrębie zagłębiń bezodpływowych (Borowiak, Barańczuk 2007; Graf 2017).



Rys. 28. Typy bezwładnościowe rzek (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie rzek o różnym typie bezwładności (B) w szeregach średnich miesięcznych przepływów.

Objaśnienia: A: Ra_1 – pierwszy współczynnik autokorelacji średnich miesięcznych przepływów, L_{Ra} – liczba statystycznie istotnych współczynników autokorelacji przy kolejnych przesunięciach szeregów średnich przepływów miesięcznych; Ra_{1K1} / Ra_{1K3} – pierwszy/trzeci kwartył współczynnika autokorelacji, L_{Ra1} / L_{Ra3} – pierwszy/trzeci kwartył liczby statystycznie istotnych współczynników autokorelacji przy kolejnych przesunięciach; 1 – typy bezwładnościowe: **typ A** ($Ra_1 > Ra_{1K3}$; $L_{Ra} < L_{RaK1}$), **typ B** ($Ra_1 > Ra_{1K3}$; $L_{Ra} > L_{RaK1}$; $L_{Ra} < L_{RaK3}$), **typ C** ($Ra_1 > Ra_{1K3}$; $L_{Ra} > L_{RaK3}$), **typ D** ($Ra_1 > Ra_{1K1}$; $Ra_1 < Ra_{1K3}$; $L_{Ra} < L_{RaK1}$), **typ E** ($Ra_1 > Ra_{1K1}$; $Ra_1 < Ra_{1K3}$; $L_{Ra} > L_{RaK1}$; $L_{Ra} < L_{RaK3}$), **typ F** ($Ra_1 > Ra_{1K1}$; $Ra_1 < Ra_{1K3}$; $L_{Ra} > L_{RaK3}$), **typ G** ($Ra_1 < Ra_{1K1}$; $L_{Ra} < L_{RaK1}$), **typ H** ($Ra_1 < Ra_{1K1}$; $L_{Ra} > L_{RaK1}$; $L_{Ra} < L_{RaK3}$), **typ I** ($Ra_1 < Ra_{1K1}$; $L_{Ra} > L_{RaK3}$).

B: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – typy bezwładnościowe (por. rys. 28A).

W zbiorze rzek pojeziernych wyjątkowym przypadkiem jest Drawa, która reprezentuje jednoelementowy typ C. Pierwszy współczynnik autokorelacji jest tu również wysoki, natomiast kolejne współczynniki są istotne przez kolejne dwanaście miesięcy. Na podstawie kryteriów wskazanej wyżej typologii należy uznać, że Drawa jest jedyną rzeką w badanym zbiorze, która charakteryzuje się „dobrą i długą pamięcią” o średnich miesięcznych przepływach. Być może jest to efekt prowadzonej gospodarki wodnej w obrębie rzeki i jej zlewni. Na Drawie, podobnie jak na większości badanych ciekach przybrzeżnych i pojeziernych, zlokalizowanych jest kilka elektrowni wodnych, które mogą wpływać na modyfikację warunków odpływu (Kubiak–Wójcicka, Kornaś 2015).

Do typu D należą trzy rzeki karpackie: Poprad, Dunajec (Tatry) i San. Wyróżniają się one przeciętną inercją krótkookresową średnich przepływów miesięcznych. Jednocześnie, wymienione rzeki charakteryzują się „krótką pamięcią” długookresową. Jak już wspomniano, sezonowe rozmieszczenie przepływu rzek karpackich cechuje relatywnie duża zmienność czasowa. Wynika ona w głównej mierze ze znacznej zmienności sezonowej opadów atmosferycznych, które wywierają decydujący wpływ na kształtowanie przepływu rzek karpackich (Jokiel, Tomalski 2017). Zlewnie rzek górskich odznaczają się też zwykle stosunkowo małymi zdolnościami retencyjnymi, przez co, po wystąpieniu gwałtownych opadów atmosferycznych następuje szybki – ale krótkotrwały – wzrost odpływu (Radecki–Pawlik i in. 2020). Z tego powodu ciekły odwadniające obszary górskie charakteryzują się raczej „słabą pamięcią” krótkookresową. W przypadku Dunajca i Sanu przyczyn wystąpienia przeciętnej inercji krótkookresowej należy prawdopodobnie upatrywać w funkcjonowaniu na tych rzekach sztucznych zbiorników wodnych (Dynowska 1984; Wiejaczka i in. 2015). Z kolei, „krótka pamięć” długookresowa omawianych cieków górskich wynika z faktu, iż drenowane przez nie poziomy wodonośne są relatywnie płytkie, mało zasobne i w znacznym stopniu zdrenowane (Tomaszewski 2001).

Co czwarta badana w pracy rzeka należy do typu bezwładnościowego E. Rzeki te odznaczają się przeciętną inercją krótkookresową i średnią długookresową. Ich przestrzenne rozmieszczenie wskazuje, że odwadniają one obszary położone w różnych częściach Polski, a ich zlewnie są bardzo zróżnicowane pod względem warunków fizycznogeograficznych. Do grupy tej zaliczają się ciekły: wyżynne (Nida, Tanew), nizinne (Bzura, Narew, Biebrza) pojeziernie i przymorskie (Parsęta, Wieprza, Słupia, Łyna), a także przepływający przez obszar Dolnego Śląska – Bóbr. Przeciętna krótkotrwała bezwładność powinna świadczyć o równie przeciętnych warunkach retencji powierzchniowej i podpowierzchniowej w ich zlewniach. Może zatem nieco dziwić pojawienie się w tej grupie kilku rzek pojeziernych i przymorskich, które wyróżniają się dużą zasobnością wodną oraz znacznymi możliwościami retencji spowodowanymi między innymi występowaniem na obszarze ich zlewni wielu jezior, w tym przepływowych (Marszelewski 2007).

Do typu F należy siedem rzek z badanego zbioru. Odwadniają one obszary wyżynne i nizinne w południowej i środkowej części Polski (Mała Panew, Oława, Przemsza, Wieprz, Pilica, Warta, Prosna). Pod względem wielkości pierwszego współczynnika autokorelacji ciekły te charakteryzują się przeciętną inercją krótkookresową, ale mają stosunkowo długą „pamięć” długotrwałą. Zatem retencja powierzchniowa ich zlewni nie jest duża, natomiast zdolności retencyjne i zasoby drenowanych poziomów wodonośnych są znaczne i towarzyszą

im, w większości przypadków, dość korzystne warunki alimentacji wód podziemnych (Jokiel 1994; Graf 2017).

W typie bezwładnościowym G znajdują się niektóre rzeki górskie (Nysa Kłodzka, Soła, Skawa, Raba) oraz Liwiec. Charakteryzują się one małą inercją krótkotrwałą w seriach średnich przepływów miesięcznych. Co więcej, rzeki należące do tego typu wyróżniają się również krótką pamięcią długotrwałą. W przypadku rzek górskich występowanie „słabej i krótkiej” pamięci o średnich przepływach miesięcznych jest dość zrozumiałe. Jak już opisano powyżej (typ D), przepływy cieków górskich ze względu na znaczne deniwelacje terenu w obrębie zlewni oraz niewielkie zdolności retencyjne odznaczają się słabą bezwładnością krótkookresową. Wydaje się jednak dosyć zaskakujące, że małą inercją krótkookresową średnich przepływów miesięcznych odznacza się również nizinny Liwiec. „Krótka pamięć” długotrwała rzek przyporządkowanych do typu G świadczy natomiast o tym, że zasoby poziomów wodonośnych drenowanych przez te cieki są stosunkowo małe, a dodatkowo występują w ich zlewniach niekorzystne warunki alimentacji wód podziemnych. Rzeki należące do typu G charakteryzują się również dość małym udziałem zasilania podziemnego w całkowitym (30–40%) (Dynowska 1988; Jokiel, Tomalski 2017).

Do typu H należy też część rzek karpackich (podkarpackich) oraz odwadniająca obszary wyżynne Kamienna. Pierwszy współczynnik autokorelacji jest w tej grupie relatywnie niski. Rzeki odznaczają się zatem „słabą”, a pod względem długości „przeciętną pamięcią” o średnich przepływach miesięcznych. Mała inercja krótkookresowa oraz przeciętna długookresowa rzek górskich może być efektem niewielkich zdolności retencyjnych ich zlewni, wynikających z budowy geologicznej oraz ukształtowania terenu, na które dodatkowy wpływ wywiera duża czasowa zmienność lokalnych warunków klimatycznych (Jokiel 1994; Jokiel, Tomalski 2017). Z kolei, w przypadku Kamiennej mogłoby się wydawać, że rzeka ta ze względu na lokalizację kilku sztucznych zbiorników wodnych powinna wyróżniać się dość „dobrą pamięcią” krótkookresową. Zbiorniki wpływają bowiem zwykle na modyfikację sezonowej struktury odpływu oraz na wyrównywanie przepływu rzeki w przekrojach znajdujących się poniżej (Fal i in. 1997; Lenar–Matyas i in. 2006). „Przeciętna pamięć” długookresowa Kamiennej jest zapewne efektem dość zasobnych poziomów wodonośnych drenowanych w jej zlewni oraz średniego współczynnika zasilania podziemnego (na poziomie 40–50%) (Jokiel, Tomalski 2017; Wrzeński 2017c).

Do typu I zalicza się tylko Bystrzyca. Podobnie jak większość rzek górskich, charakteryzuje się ona małą inercją krótkookresową średnich przepływów miesięcznych. Bystrzyca jako jedyna rzeka w badanym zbiorze wyróżnia się przy tym dość długą inercją długookreso-

wą – „pamięć” o średnich przepływach utrzymuje się tutaj przez pięć miesięcy. Być może w przypadku Bystrzycy tak duża inercja długookresowa jest efektem gospodarki wodnej prowadzonej w obrębie sztucznych zbiorników wodnych licznie występujących na jej dopływach (Kasprzak 2010; Rzętała 2017).

Warto zwrócić uwagę, że wskutek przyjęcia konkretnych wartości granicznych w procesie wydzielenia typów bezwładnościowych w średnich miesięcznych przepływach, jedno z wyodrębnionych pól pozostało „puste”. Oznacza to, iż odpowiadające mu cechy bezwładności nie występują w analizowanym zbiorze cieków Polski (typ A). Żadna z serii średnich przepływów miesięcznych rzek badanej grupy nie wyróżnia się zatem długą krótkookresową oraz krótką długookresową bezwładnością. Zatem w badanym zbiorze nie ma rzeki (zlewni), która charakteryzowałaby się znacznymi zdolnościami retencji powierzchniowej i podpowierzchniowej, przy jednoczesnym silnym zdrenowaniu mało zasobnych poziomów wodonośnych.

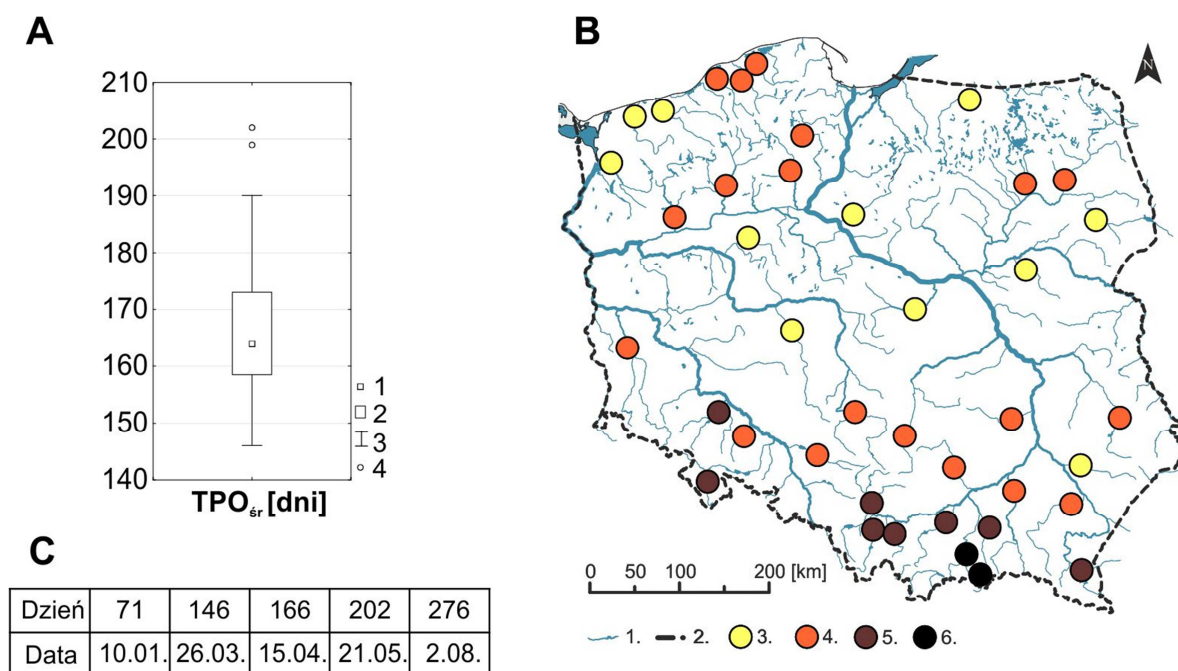
Przeprowadzona wyżej próba typologii rzek, uwzględniającej podstawowe cechy inercji występującej w seriach średnich miesięcznych przepływów dowiodła, że wyróżnione typy cieków nie tworzą wyraźnych dziedzin przestrzennych i trudno w rozmieszczeniu poszczególnych typów rzek doszukać się wyraźnego porządku przestrzennego. Do wyróżnionych grup przynależą bowiem rzeki, odwadniające różne regiony fizycznogeograficzne Polski i odznaczające się bardzo różnymi warunkami formowania się przepływu (np. typy E i G). Jednocześnie, warto zwrócić uwagę, że liczebność cieków w wyróżnionych typach jest zróżnicowana – pojawiły się nawet dwa typy jednoelementowe (C i I). W ocenie autorki, zagadnienie inercji odpływu rzeczno-odpływu oraz jej związków z retencyjnością zlewni i formami odpływu wymaga bardziej szczegółowych analiz.

5.2. Termin połowy odpływu.

5.2.1. Przestrzenne zróżnicowanie.

Średnie wieloletnie terminy połowy odpływu (TPO_{sr}) w badanych zlewniach mieszczą się w dość szerokim zakresie, obejmującym niemal dwa miesiące kalendarzowe (56 dni) (rys. 29AB; zał. 4). Aby ułatwić interpretację oraz ukazać położenie TPO_j na rocznej osi czasu, w na rysunku 29 w części C zamieszczono przykładowe TPO_j oraz odpowiadające im daty.

W skali wieloletniej, najwcześniej w analizowanej grupie odpływała połowa zasobów wodnych Proсны (146 dzień roku hydrologicznego; 26 marca). Najpóźniejszy TPO_{sr} odnotowano natomiast dla Dunajca (202 dzień roku hydrologicznego; 21 maja). Przedstawiony tu zakres zmienności średnich wieloletnich terminów połowy odpływu jest znacznie szerszy niż w zlewniach środkowej Polski (Jokiel 2016) oraz zlewniach karpackich (Jokiel, Tomalski 2017). Wskazane tam różnice między ekstremalnymi TPO_{sr} wynosiły odpowiednio 35 i 34 dni. W wybranych przekrojach wodowskazowych Wisły średnie wieloletnie (TPO_{sr}) były jeszcze mniej zróżnicowane i zmieniały się w przedziale 22 dni (Jokiel, Tomalski 2018).



Rys. 29. Zróżnicowanie (A) i przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego terminu połowy odpływu (TPO_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010 oraz zestawienie terminów i dat TPO_j (C).

Objaśnienia: A: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające; B: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa; średni wieloletni termin połowy odpływu (TPO_{sr}) (od 1 listopada): 3 – wczesny (159 dzień i wcześniejszy), 4 – przeciętny (160–173 dzień), 5 – późny (174–180 dzień), 6 – bardzo późny (181 dzień i późniejszy); C: przykładowe terminy oraz daty TPO_j .

W większości badanych zlewni (31 przypadków) kumulowane odpływy przekraczały 50% sumy rocznej w kwietniu (rys. 29A; zał. 4). Jednocześnie, w połowie analizowanych zlewni, TPO_{sr} przypadają na drugą oraz trzecią dekadę kwietnia. Rozkład TPO_{sr} charakteryzuje się wyraźną dodatnią asymetrią, na co decydujący wpływ wywierają wartości odstające (por. rys. 30).

Średni wieloletni termin połowy odpływu (166 dzień roku hydrologicznego; 15 kwietnia), obliczony jako średnia z TPO_{sr} uzyskanych dla wszystkich badanych rzek, jest o 12 dni późniejszy niż analogiczny termin wyznaczony dla rzek środkowej Polski (Jokiel 2016). Jednocześnie, termin ten jest o 18 dni wcześniejszy od średniej uzyskanej dla wybranych cieków w polskiej części Karpat (Jokiel, Tomalski 2016).

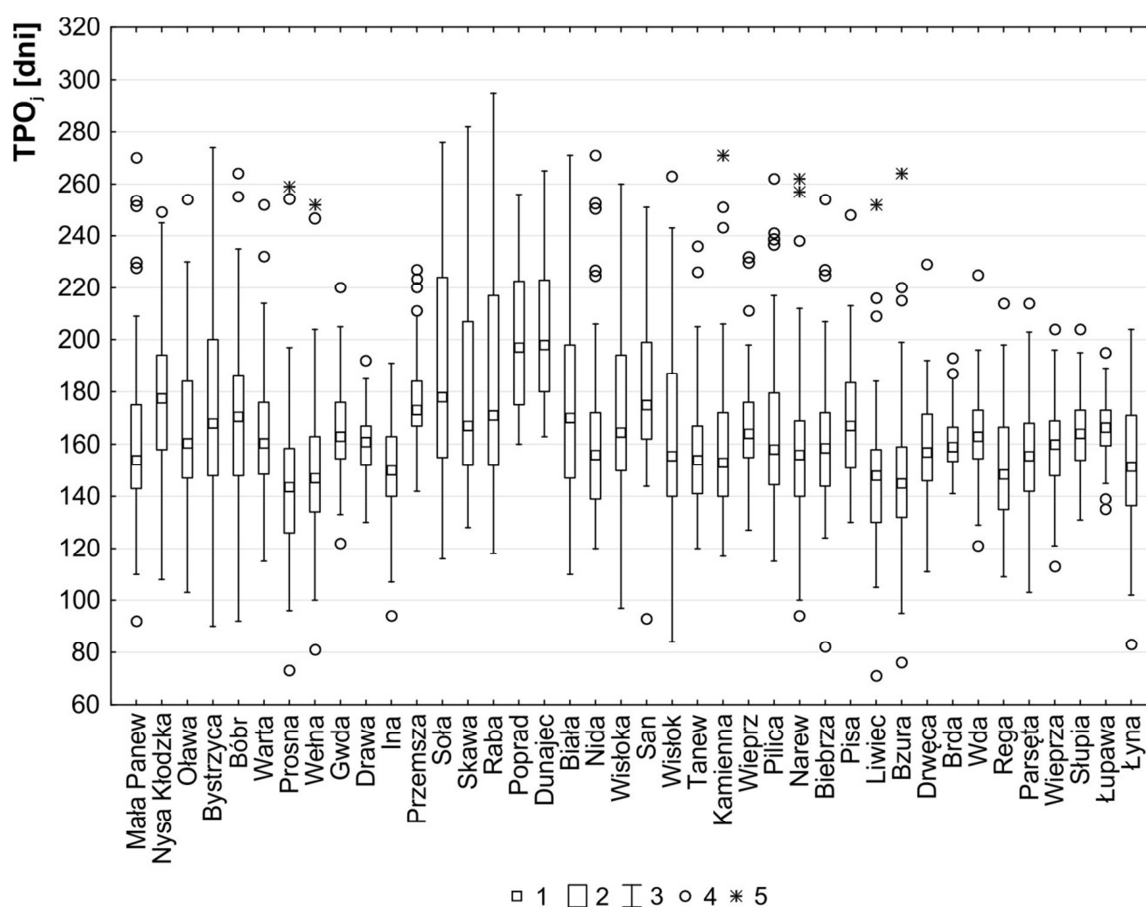
Przestrzenne rozmieszczenie średniego wieloletniego terminu połowy odpływu w badanych zlewniach przedstawiono na rysunku 29B. Do ustalenia przedziałów klasowych TPO_{sr} wykorzystano te same miary pozycyjne, które posłużyły do konstrukcji wykresu typu *box&whisker* (rys. 29A). Za przeciętny uznano zatem każdy TPO_{sr} zawierający się w przedziale wyznaczonym przez kwartyle, a terminy wczesne i późne zostały określone przez wartości TPO_{sr} odpowiednio mniejsze lub większe od określonych kwartyli (pierwszego i trzeciego). Dodatkowo, z uwagi na dużą skośność rozkładu, jako bardzo późne TPO_{sr} uznano wartości dodatnio odstające.

W rozmieszczeniu TPO_{sr} zarysowuje się dość wyraźny porządek przestrzenny (rys. 29B). Względnie najwcześniejszymi TPO_{sr} wyróżniały się rzeki nizinne, odwadniające środkową (Prosna, Bzura) oraz wschodnią część kraju (Liwiec, Narew). Stosunkowo wczesne TPO_{sr} zarejestrowano również w niektórych rzekach pojeziernych, w tym w płynących przez Pojezierza: Mazurskie (Łyna), Chełmińsko-Dobrzyńskie (Drwęca) i Wielkopolskie (Wełna) oraz przez północno-zachodnią część Pojezierza Pomorskiego (Ina, Rega, Parsęta). W południowej Polsce jedyną rzeką, która odznaczała się względnie wczesnym TPO_{sr} była Tanew.

Relatywnie późnymi TPO_{sr} charakteryzowały się natomiast rzeki górskie, a w szczególności – karpackie. Najpóźniejszymi TPO_{sr} wyróżniały się tu rzeki z zachodniej części Beskidów (Soła, Raba) oraz tatrzańskie (Poprad, Dunajec). Przeciętnie w skali wielolecia, kumulowane odpływy rzek odwadniających Beskidy Zachodnie i Tatry przekraczały połowę sumy rocznej dopiero w cieplej porze roku (maj). Należy jednocześnie zauważyć, że wymienione ciekі posiadają reżim niwalno-pluwialny bądź pluwialno-niwalny i wyróżniają się znaczną przewagą zasilania powierzchniowego nad podziemnym (Wrzesiński 2017a,b,c). Wyniki przeprowadzonych badań wskazują również, że wymienione wyżej rzeki charakteryzowały

się najpóźniejszymi TPO_{sr} nie tylko w polskiej części Karpat (Jokiel, Tomalski 2017), ale także w odniesieniu do całego kraju.

Terminy połowy odpływu zmieniały się w zbiorze badanych zlewni w bardzo szerokim zakresie (rys. 30; zał. 4). Biorąc pod uwagę skrajne wartości z wielolecia, rozstęp pomiędzy najwcześniejszym TPO_j (71 dzień roku hydrologicznego; 10 stycznia; Liwiec) oraz najpóźniejszym TPO_j (295 dzień roku hydrologicznego; 22 sierpnia; Raba) wyniósł 224 dni, co daje różnicę przekraczającą siedem miesięcy. Rozpiętość między tymi terminami była zatem większa niż w przypadku rzek ze środkowej Polski (Jokiel 2016) – 206 dni oraz rzek karpackich – 212 dni (Jokiel, Tomalski 2017).



Rys. 30. Zróżnicowanie rocznych terminów połowy odpływu (TPO_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne.

Na podstawie wartości średnich wyznaczonych dla wieloletnich szeregów TPO_j można stwierdzić, że w co czwartej zlewni połowa jej rocznych zasobów odpływała na początku kwietnia (155 dzień roku hydrologicznego; 4 kwietnia) (zał. 4). Relatywnie niskimi przeciętnymi terminami połowy odpływu charakteryzowały się rzeki nizinne (Prosna, Bzura, Liwiec).

W ujęciu wieloletnim, stosunkowo wcześniej odpływ przekraczał połowę sumy rocznej również w części zlewni pojeziernych (Wełna, Rega, Ina, Łyna) oraz wyżynnych (Kamienna, Tanew). Trudno nie dostrzec tutaj związku z rozkładem udziału odpływu w chłodnym oraz ciepłym półroczu (por. rozdz. 5.1.1.). Rzeki te posiadają bowiem reżim niwalny silnie bądź średnio wykształcony, który wyróżnia się wyraźną dominacją odpływu w półroczu chłodnym (Wrzesiński 2017a). Wydaje się zatem oczywiste, że przeciętny termin połowy odpływu w wieloleciu jest w nich stosunkowo wczesny.

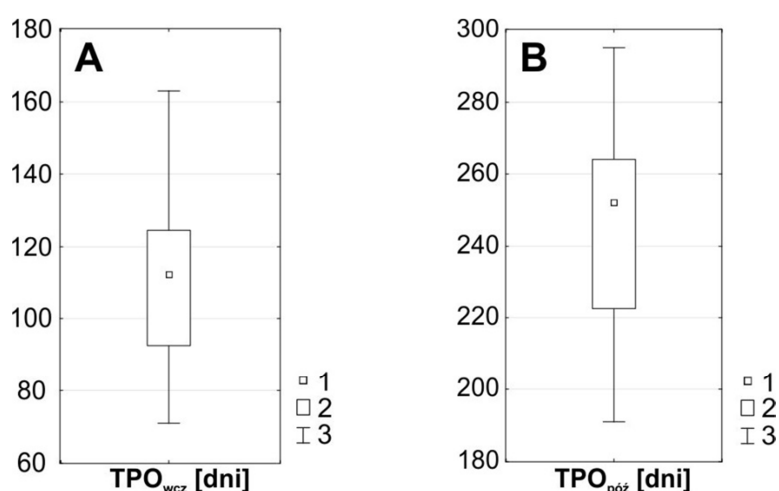
Względnie wysokie średnie TPO zidentyfikowano też w większości rzek górskich, np. w: Białej, Bobrze, Rabie, Sanie, Nysie Kłodzkiej, Sole, Popradzie i Dunajcu. Połowa rocznych zasobów wymienionych rzek odpływała przeciętnie w końcu drugiej dekady kwietnia bądź jeszcze później (170 dzień roku hydrologicznego; 19 kwietnia). Dłuższy okres retencjonowania zasobów wodnych w postaci pokrywy śnieżnej oraz późniejszy termin roztopów w obszarach górskich wpływa na przesunięcie TPO_{sr} w kierunku półrocza ciepłego. W zbiorze rzek górskich najwyższymi TPO_{sr} wyróżniały się prawostronne dopływy górnej Wisły (Dunajec, Poprad). Może wynikać to z faktu, że rzeki te charakteryzują się reżimem pluwialno-niwalnym, w którym równoważny lub większy niż roztopy udział w zasilaniu mają letnie opady atmosferyczne (Wrzesiński 2017abc).

Współczynniki zmienności wieloletniej (CV_{TPO}) świadczą o małym lub przeciętnym poziomie dyspersji terminów połowy odpływu w badanej grupie zlewni (zał. 4). Rozstęp CV_{TPO} był niewielki i zawierał się w przedziale od niespełna 7,2% (Drawa) do 23,4% (Kamienna). Jednocześnie, połowa rzek w analizowanym zbiorze charakteryzowała się CV_{TPO} w granicach między 12,8% a 20,7%. Średnia zmienność wieloletnia terminów połowy odpływu badanych rzek (16,5%) była mniejsza od poziomu dyspersji TPO obliczonej dla wybranych rzek w Karpatach (Jokiel, Tomalski 2017) oraz w środkowej Polsce (Jokiel 2016), gdzie wynosiła ona odpowiednio: 20,7% oraz 18,9%.

Najmniejszą (poniżej 10%) zmiennością TPO w wieloleciu odznaczały się niektóre rzeki odwadniające Pojezierze Pomorskie (Drawa, Łupawa, Brda, Słupia). Wydaje się, że niski CV_{TPO} jest w nich konsekwencją występowania naturalnych (jezior) i sztucznych zbiorników wodnych oraz znacznych zdolności retencyjnych ich zlewni. Relatywnie wysokie CV_{TPO} zidentyfikowano natomiast w większości rzek górskich. W tym przypadku wzrost wieloletniego poziomu dyspersji TPO_j może wynikać z kolei z ograniczonych możliwości retencyjnych zlewni górskich, na co decydujący wpływ wywierają lokalne warunki fizycznogeograficzne, w tym budowa geologiczna i ukształtowanie terenu, niesprzyjające infiltracji i gromadzeniu większych zasobów w hydrologicznie czynnej strefie saturacji.

Rzeki badanego zbioru były bardzo zróżnicowane pod względem rozstępu TPO_j w wieloleciu, obliczanego jako różnica pomiędzy $TPO_{póź}$ a TPO_{wcz} (rys. 30; zał. 4). Najmniejszą amplitudą odznaczała się Brda (52 dni). W ogólności, relatywnie małym rozstępem TPO w wieloleciu charakteryzowały się rzeki posiadające w swych systemach jeziora (zwłaszcza przepływowe), a w szczególności ciekły odwadniające Pojezierze Pomorskie (Łupawa, Drawa, Słupia, Wieprza, Ina, Gwda).

Największą amplitudę pomiędzy $TPO_{póź}$ a TPO_{wcz} odnotowano w przypadku Bzury. Różnica między ekstremalnymi TPO_j w wieloleciu wyniosła tutaj aż 188 dni. Była zatem ponad trzykrotnie większa od najmniejszego wieloletniego rozstępu rocznych terminów połowy odpływu w analizowanym zbiorze. Poza Bzurą, stosunkowo wysoką amplitudą pomiędzy $TPO_{póź}$ i TPO_{wcz} wyróżniały się również niektóre rzeki górskie (Bystrzyca, Wisłok, Raba). Co czwarta badana rzeka posiadała rozstęp między $TPO_{póź}$ a TPO_{wcz} większy niż 171 dni. Należy zwrócić uwagę, że połowa z tych rzek odwadnia obszary nizinne i odznacza się jednocześnie relatywnie niskimi TPO_{sr} . W analizowanym zbiorze rzek nie stwierdzono jednak istotnej współzmienności pomiędzy średnimi terminami połowy odpływu (TPO_{sr}) i rozstępem ekstremalnych TPO_j ($r=-0,224$).



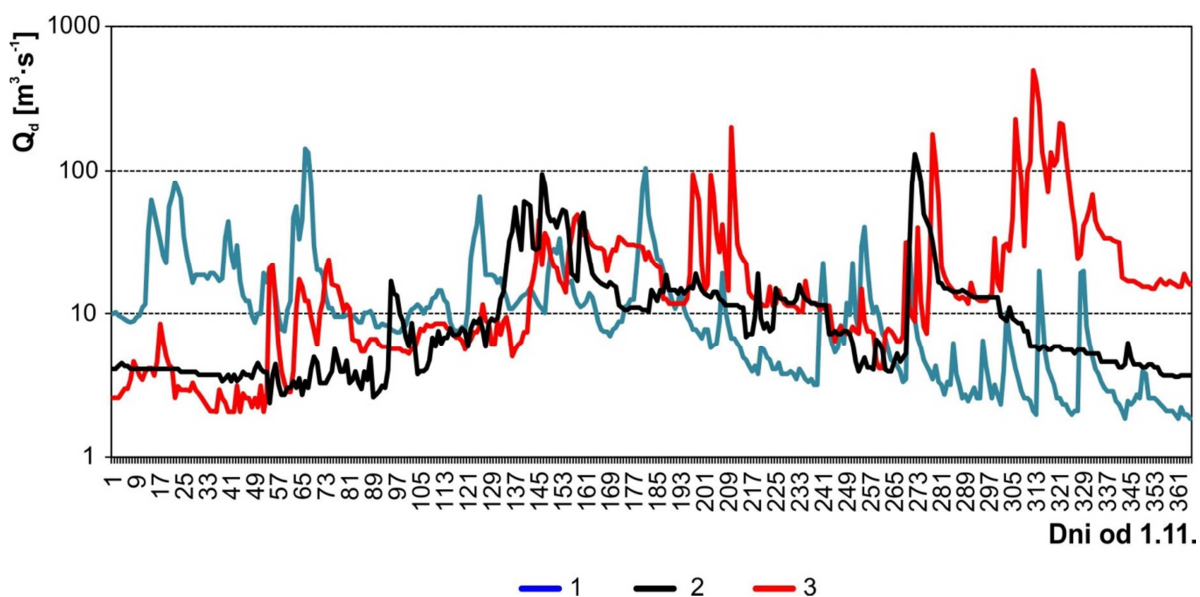
Rys. 31. Zróżnicowanie najwcześniejszych (TPO_{wcz} ; A) i najpóźniejszych ($TPO_{póź}$; B) terminów połowy odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: A, B: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających.

Najwcześniejsze terminy połowy odpływu w badanych zlewniach (TPO_{wcz}) były bardzo zróżnicowane w wieloleciu (rys. 31A; zał. 4). W przypadku Liwca kumulowane odpływy przekroczyły 50% sumy rocznej już w 71 dniu roku hydrologicznego (10 stycznia). Najpóźniejszy TPO_{wcz} zanotowano natomiast dla Dunajca (167 dzień roku hydrologicznego; 16 kwietnia). Różnica wynosi zatem ponad trzy miesiące (92 dni). Połowa TPO_{wcz} zawiera-

ła się jednak w dość wąskim zakresie między 93 (1 lutego) a 125 (5 marca) dniem roku hydrologicznego. Najwcześniejszymi TPO_{wcz} charakteryzowały się rzeki odwadniające obszary nizinne. Relatywnie wczesne TPO_{wcz} wyróżniały także ciekę górskie o reżimie niwalno-pluwialnym (Wisłok, San, Wisłoka).

Najpóźniejsze terminy połowy odpływu ($TPO_{póź}$) charakteryzowały się w badanym zbiorze rzek jeszcze większym rozstępem w wieloleciu niż TPO_{wcz} (rys. 31B; zał. 4). Najwcześniejszy $TPO_{póź}$ zanotowano w zlewni Iny i wystąpił on w pierwszej dekadzie maja (191 dzień roku hydrologicznego; 10 maja). Najpóźniej połowa rocznych zasobów wodnych odpłynęła natomiast kiedyś w Rabe (295 dzień roku hydrologicznego; 22 sierpnia). Stosunkowo najwcześniejszymi $TPO_{póź}$ odznaczały się rzeki pojezierne i przymorskie. Najpóźniejsze $TPO_{póź}$ pojawiały się zaś głównie w rzekach odwadniających obszary górskie oraz wyżynne. W co drugiej rzece analizowanego zbioru $TPO_{póź}$ wystąpił między 12 czerwca a 22 lipca, co odpowiednio wyznacza 224 i 264 dzień roku hydrologicznego. Rozkład $TPO_{póź}$ charakteryzuje wyraźna, ujemna asymetria.



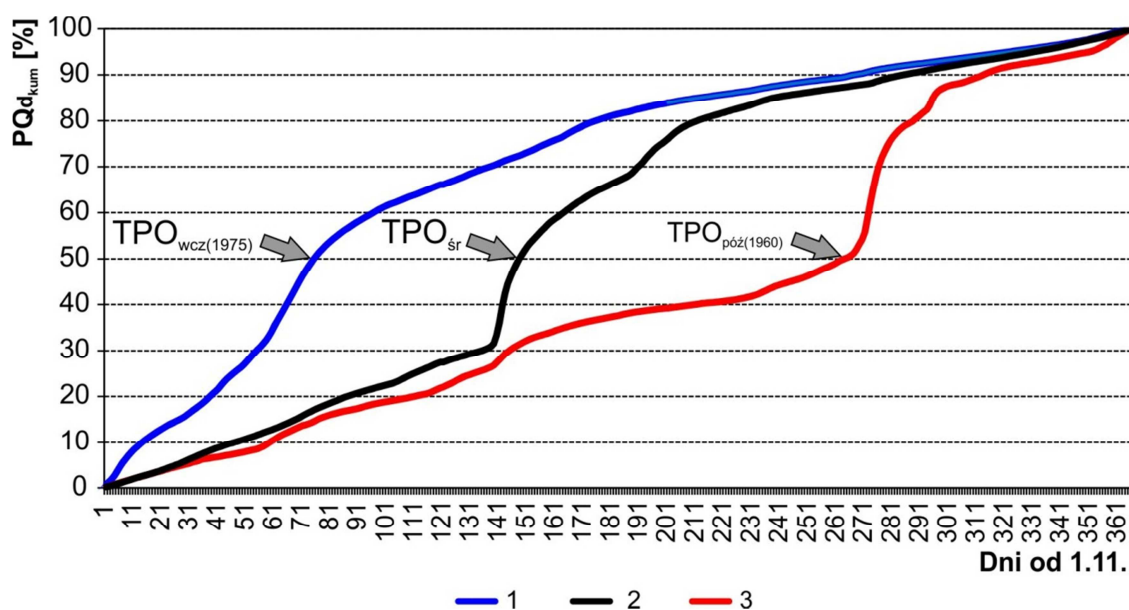
Rys. 32. Roczne hydrogramy przepływu Raby po Proszówce w latach o wczesnym ($TPO_{wcz(1982)}$), przeciętnym (TPO_{sr}) oraz późnym terminie połowy odpływu ($TPO_{póź(1996)}$) w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: Q_d – przepływ dobowy [$m^3 \cdot s^{-1}$]; 1 – $TPO_{wcz(1982)}$; 2 – TPO_{sr} ; 3 – $TPO_{póź(1996)}$.

Na podstawie rocznych hydrogramów przepływu Raby można dostrzec różnice w sezonowym rozmieszczeniu przepływu w latach o zróżnicowanym TPO (rys. 32). Najwcześniejszy TPO_{wcz} zanotowano dla tej rzeki już w 118 dniu roku hydrologicznego (26 lutego 1982 roku). Kumulowane przepływy bardzo wczesnie przekroczyły wówczas po-

łową sumy rocznej, ponieważ największe wezbrania formowały się w półroczu chłodnym. Decydujący wpływ na sezonową strukturę odpływu posiadało zatem zasilanie roztopowe. W 2004 roku stwierdzono w Rabie termin połowy odpływu zbliżony do średniej obliczonej z wielolecia (185 dzień roku hydrologicznego; 4 maja). Na rocznym hydrogramie przepływu zaznaczają się wyraźnie dwie fazy wezbrań charakterystycznych dla rzeki o niwalno-pluwialnym reżimie rzeczny – pierwsze w trakcie wiosennych roztopów, drugie wywołane letnimi opadami atmosferycznymi (Wrzesiński 2017c). Najpóźniejszy $TPO_{póź}$ zidentyfikowano natomiast w roku, w którym największą skalę osiągały wezbrania w półroczu ciepłym (22 sierpnia 1996 roku).

Do zobrazowania zmian zachodzących w reżimie rzeczny może posłużyć również analiza kształtu względnych krzywych sumowych przepływu rocznego (rys. 33). Przedstawione krzywe prezentują przyrost przepływu dobowego Bzury w procentach sumy rocznej w latach, w których zanotowano wczesny TPO_{wcz} , przeciętny $TPO_{śr}$ oraz późny $TPO_{póź}$ w wieloleciu. Do zilustrowania różnic w sezonowym rozmieszczeniu przepływu w latach o zróżnicowanym terminie połowy odpływu wybrano Bzurę, ponieważ odznaczała się ona w badanym zbiorze największą amplitudą ekstremalnych TPO_j .



Rys. 33. Względne krzywe sumowe odpływu rocznego Bzury po Sochaczew w latach o wczesnym ($TPO_{wcz(1975)}$), przeciętnym ($TPO_{śr}$) oraz późnym terminie połowy odpływu ($TPO_{póź(1960)}$) w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: PQd_{kum} – skumulowany przepływ dobowy w procentach sumy rocznej [%]; 1 – skumulowany przepływ dobowy w roku o $TPO_{wcz(1975)}$ [%]; 2 – skumulowany przepływ dobowy w roku o $TPO_{śr}$ [%]; 3 – skumulowany przepływ dobowy w roku o $TPO_{póź(1960)}$ [%].

Względna krzywa sumowa przepływu wyznaczona dla roku charakteryzującego się TPO_{wcz} jest bardziej „wypukła” od pozostałych. Przebieg tej krzywej wskazuje, że największy przyrost przepływu wystąpił między 60 (30 grudnia) i 75 (14 stycznia) dniem roku hydrologicznego. Na podstawie kształtu krzywej sumowej można również zauważyć, że w tym roku przeważało zasilanie śnieżne, a większy udział w odpływie rocznym posiadało półrocze chłodne niż półrocze ciepłe – do końca kwietnia odpłynęło wówczas blisko 80% rocznych zasobów wodnych zlewni Bzury.

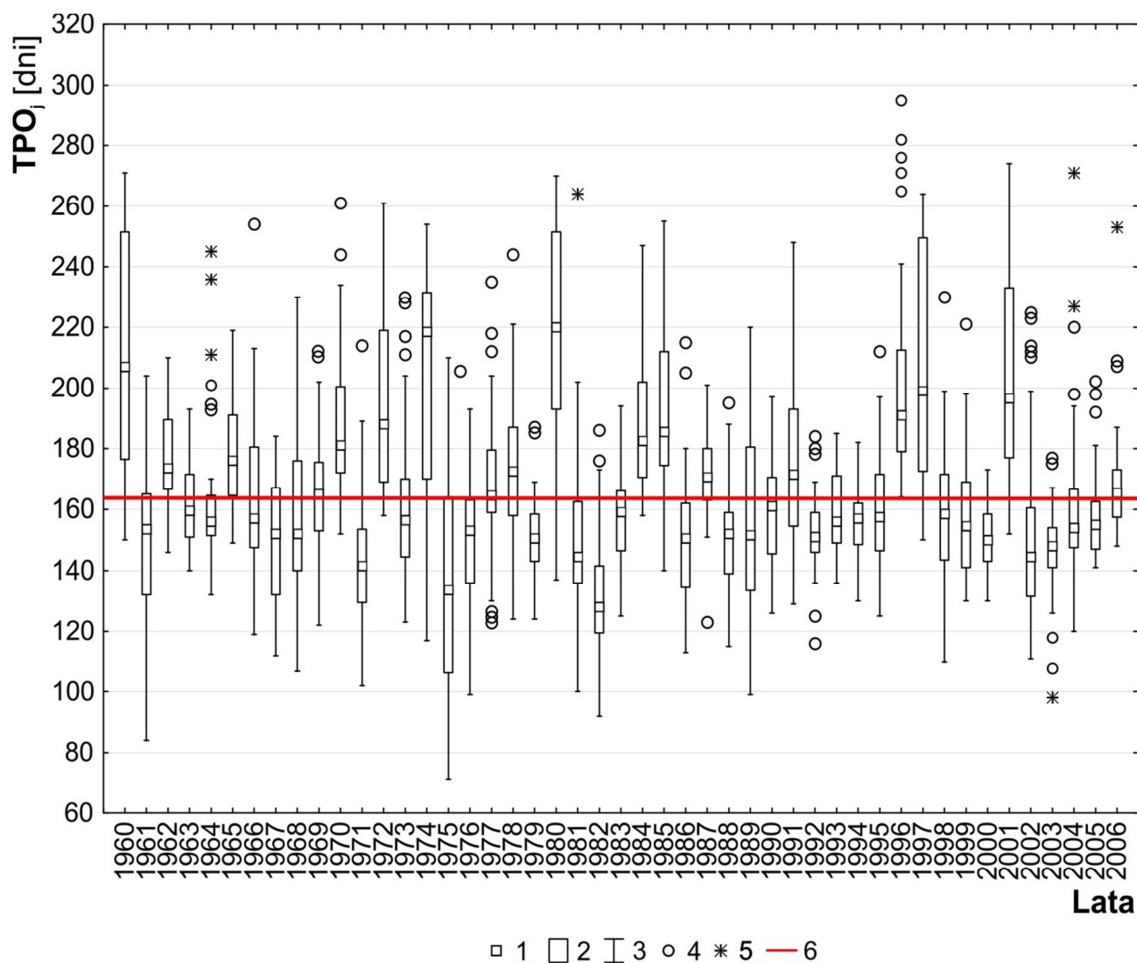
Odpływ rzeczny Bzury w roku wystąpienia $TPO_{póz}$ charakteryzował się względnie stałym przyrostem w kolejnych miesiącach aż do połowy półrocza ciepłego. Na przełomie lipca i sierpnia nastąpił gwałtowny wzrost przepływu rzeki, co było oczywiście konsekwencją wystąpienia bardzo dużych, letnich wezbrań opadowych. Jednocześnie, udział odpływu Bzury w półroczu ciepłym był w tym roku zdecydowanie wyższy niż w półroczu chłodnym i przekraczał 60% sumy rocznej.

Przepływ Bzury w 2005 roku, a więc w tym w którym zanotowano TPO zbliżone do przeciętnego z wielolecia (149 dzień roku hydrologicznego; 29 marca), wzrastał powoli i równomiernie aż do początku wiosny. Wyrazny punkt załamania względnej krzywej sumowej średnich przepływów dobowych tej rzeki wystąpił w połowie marca. Po nim nastąpił bardzo szybki przyrost przepływu, głównie w ostatniej dekadzie marca oraz w kwietniu. Wzrost ten był bez wątpienia wynikiem wzmożonego zasilania roztopowego i opadów wiosennych. Kształt względnej krzywej sumowej przepływu Bzury dla roku przeciętnego obrazuje zatem typowe cechy sezonowego rozmieszczenia przepływu, którymi wyróżniają się rzeki o silnie wykształconym, niwalnym reżimie (Wrzesiński 2017b).

5.2.2. Zmiany i fluktuacje w wieloleciu.

Charakterystykę wieloletniej zmienności sezonowego rozmieszczenia przepływu wybranych rzek Polski wykonano między innymi w oparciu o analizę zróżnicowania TPO_j w poszczególnych latach wielolecia (rys. 34). W celu zachowania jednakowej liczby obserwacji dla wszystkich lat, ocenę poziomu dyspersji TPO_j przeprowadzono dla okresu 1960–2006. Było to wielolecie, dla którego w każdym roku i dla każdej badanej rzeki dysponowano pełnym oraz wiarygodnym materiałem hydrometrycznym. Odstępstwem od tej reguły był przekrój Wisłoki po Mielec, w którym występuje luka w serii pomiarowej w 1992 roku.

Brak ciągłości tych danych był konsekwencją tego, że nie prowadzono w tym roku pomiarów natężenia przepływu rzeki.



Rys. 34. Wieloletnie zmiany terminów połowy odpływu (TPO_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne, 6 – średni wieloletni termin połowy odpływu (166 dzień roku hydrologicznego; 15 kwietnia), obliczony jako średnia z TPO_{jr} uzyskanych dla wszystkich badanych rzek.

Wartości środkowe (mediany) terminów połowy odpływu w analizowanym zbiorze rzek polski były w badanym okresie bardzo zróżnicowane. Najniższe mediany TPO_j w wieloleciu wystąpiły w latach 1982 i 1975. Około 50% rocznego odpływu odpłynęło wówczas w połowie wybranych zlewni między w 130 i 133 dniem roku hydrologicznego, czyli między 10 i 13 marca. Najwyższą wartość środkową terminu połowy odpływu dla całego zbioru rzek zanotowano w 1980 roku (220 dzień roku hydrologicznego; 8 czerwca). Różnica między ekstremalnymi medianami TPO_j była zatem bardzo duża i wyniosła 90 dni. Warto zwrócić uwagę, że lata, w których najwcześniej w wieloleciu kumulowane odpływy przekraczały połowę sumy rocznej, odznaczały się też relatywnie dużym odpływem całkowitym oraz znaczną przewagą odpływu w półroczu chłodnym nad odpływem w półroczu ciepłym. Natomiast rok

o najpóźniejszej medianie TPO_j (1980) wyróżniał się zwiększonym udziałem odpływu w półroczu ciepłym (Fal i in. 1997). Jednocześnie, wartości środkowe obliczone dla całego zbioru zlewni i poszczególnych lat wielolecia miały charakter losowy. Zastosowany test Manna–Kendalla potwierdził brak statystycznie istotnego trendu w tym szeregu (na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Mówiąc w skrócie, przeciętne terminy połowy odpływu całego zbioru nie rosły i nie malały.

Na omawianym wykresie (rys. 34) dodatkowo zaznaczono linię, która określa średni wieloletni termin połowy odpływu, obliczony jako średnia z TPO_{sr} wyznaczonych dla wszystkich badanych rzek. Położenie wartości środkowych TPO_j względem tej linii pokazuje nie tylko ich dużą zmienność w poszczególnych latach wielolecia, ale również znaczne zmiany zachodzące w następujących po sobie latach. Warto jednak zauważyć, że w większości lat mediany TPO wskazywały wcześniejszą datę odpływu połowy rocznych zasobów wodnych niż średnia uzyskana dla wielolecia (15 kwiecień). Jest to oczywiście efekt prawostronnej skośności rozkładów TPO_j .

Poszczególne lata różniły się między sobą również rozstępem TPO_j . Największą zmienność TPO_j odnotowano od początku lat 70. do połowy lat 80. ubiegłego stulecia. Jednocześnie, w analizowanym okresie można wyróżnić również lata, w których rzeki charakteryzowały się bardzo małą zmiennością TPO_j . Najmniejszą amplitudę pomiędzy najwcześniejszym oraz najpóźniejszym terminem połowy odpływu zanotowano w 2000 roku i wyniosła ona zaledwie 43 dni. W co czwartym roku analizowanego wielolecia rozstęp między ekstremalnymi TPO_j był mniejszy niż 70 dni. Relatywnie małą amplitudą TPO_j wyróżniały się lata: 1962, 1963, 1965, 1979, 1983, 1992, 1993, 1994, 2005.

Wykres typu *box&whisker* umożliwia też dostrzeżenie pewnych podobieństw rozkładów TPO_j w poszczególnych latach omawianego okresu wieloletniego (rys. 34). Na podstawie analizy cech „pudełek z wąsami” można zatem wyodrębnić lata, które wyróżniały się relatywnie wąskim przedziałem połowy liczebności, a jednocześnie charakteryzowały się szerokim rozstępem terminów połowy odpływu. Była to konsekwencja występowania w tych latach zróżnicowanych wartości odstających oraz ekstremalnych (1964, 1977, 1996, 2004, 2006) – terminy połowy odpływu niektórych rzek były skrajnie późne, rzadziej bardzo wcześnie.

Jednocześnie, w wieloleciu 1960–2006 zarejestrowano lata odznaczające się względnie szerokim rozstępem zarówno przedziałów połowy liczebności TPO_j , jak i ich wartości nieodstających. Największą amplitudę między najwcześniejszym i najpóźniejszym terminem połowy odpływu zidentyfikowano w 1981 roku i wyniosła ona 164 dni, czyli ponad pięć mie-

sięcy kalendarzowych. Zwiększoną liczbę lat wyróżniających się relatywnie szerokim rozstępem wartości nieodstających TPO_j zanotowano w pierwszej dekadzie wielolecia 1960–2006 (lata: 1960, 1961, 1966, 1968). Dużą zmiennością terminów połowy odpływu charakteryzowały się również lata: 1975, 1980, 1981, 1989, 2001.

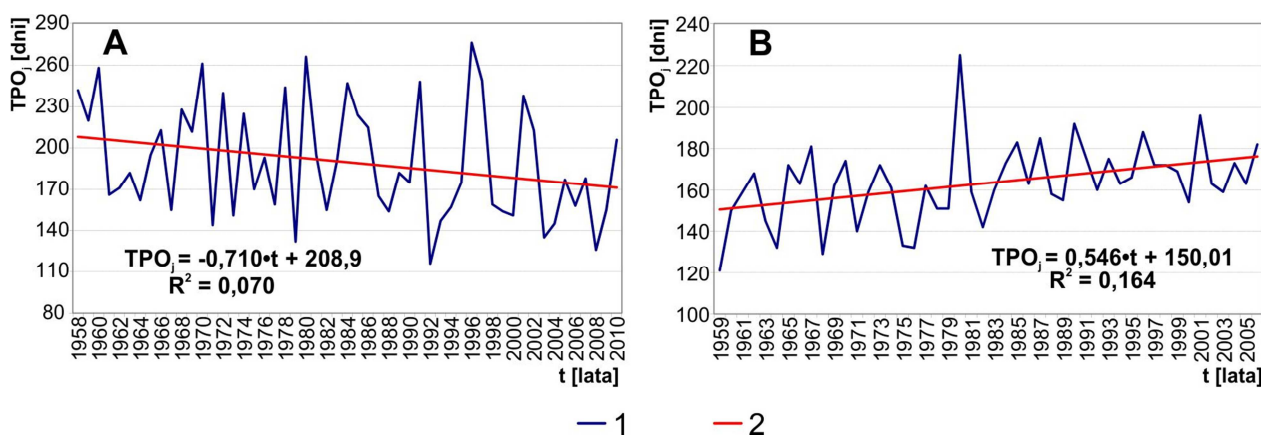
Interesujące wnioski płyną z wyodrębnienia lat, w których zanotowano ekstremalne terminy połowy odpływu (rys. 34; por. zał. 4). Okazuje się bowiem, że w co drugiej badanej rzece najwcześniejsze terminy odpływu (TPO_{wcz}) wystąpiły w latach 70. XX wieku. Jednocześnie, w przypadku 15 z nich termin wczesny zanotowano w 1975 roku. Zauważalny był przy tym pewien porządek przestrzenny, gdyż większość wskazanych wyżej rzek płynie w północnej części Polski i odwadnia obszary pojezierzy (Wełna, Gwda, Drawa, Ina, Drwęca, Parsęta, Wieprza, Łupawa, Łyna) oraz Podlasie i Polesie (Narew, Biebrza, Liwiec). Znaczną liczbę TPO_{wcz} zarejestrowano również w 1982 roku oraz w latach 50. ubiegłego wieku – odpowiednio: siedem oraz pięć przypadków. Nie dostrzeżono tutaj jednak wyraźnych prawidłowości regionalnych. Dla sześciu rzek badanego zbioru najwcześniejszy termin połowy odpływu wystąpił w 1961 roku. Należy w tym przypadku zauważyć, że rzeki te płyną w południowej części Polski, a cztery z nich to ciekі karpackie (Biała, Wisłoka, San, Wisłok).

Szczególnie wyraźne prawidłowości regionalne są widoczne w przypadku analizy najpóźniejszych terminów połowy odpływu. Najwięcej $TPO_{póź}$ zanotowano w latach 80. XX wieku. Najpóźniejsze terminy połowy odpływu zarejestrowano w tej dekadzie w 16 rzekach. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że dla 15 z nich termin ten wystąpił w 1980 roku. Należy podkreślić, że większość tych rzek przepływa przez północno-zachodnią (Pojezierze Pomorskie, Pojezierze Wielkopolskie) lub południowo-wschodnią (Wyżyna Lubelska) część Polski oraz Karpaty.

W co czwartej analizowanej rzece $TPO_{póź}$ zidentyfikowano w latach 90. ubiegłego wieku. W przypadku sześciu rzek z tej grupy, późny termin połowy odpływu wystąpił w 1996 roku. Tutaj również zauważalny jest pewien porządek przestrzenny, gdyż pięć z nich należy do dorzecza górnej Wisły i odwadnia Beskidy Zachodnie (Soła, Skawa, Raba, Dunajec) oraz Wyżynę Kielecką (Kamienna). Z kolei, w 1997 roku zanotowano $TPO_{póź}$ w czterech rzekach z dorzecza Odry, przepływających przez południowo-zachodnią (Nysa Kłodzka, Oława) oraz środkową część Polski (Warta, Proсна). W 1960 roku najpóźniejsze w wieloleciu terminy połowy odpływu zanotowano zaś w sześciu rzekach badanego zbioru. Większość z nich to lewostronne dopływy Wisły, odwadniające wyżynną (Przemsza, Nida, Pilica) oraz nizinną (Bzura) część kraju.

W latach 70. XX wieku również zauważalne były pewne prawidłowości przestrzenne pod względem wystąpienia $TPO_{póź}$. W 1972 roku późny termin połowy odpływu zidentyfikowano w rzekach przepływających przez Pojezierze Mazurskie (Pisa, Łyna). Z kolei, w 1974 roku $TPO_{póź}$ wystąpił w rzekach odwadniających Podlasie i Polesie (Biebrza, Liwiec). Warto jednocześnie dodać, że w dekadzie lat 50. ubiegłego wieku nie zanotowano ani jednego terminu połowy odpływu, który można uznać za późny.

Na uwagę zasługuje również fakt, że w badanym zbiorze zidentyfikowano rzeki, w których w tych samych latach wystąpił najwcześniejszy oraz najpóźniejszy termin połowy odpływu (por. zał. 4). Niejednokrotnie zauważalne były przy tym wyraźne prawidłowości przestrzenne. W przypadku aż siedmiu rzek z tej grupy, TPO_{wcz} oraz $TPO_{póź}$ zanotowano odpowiednio w 1975 i 1980 roku. Wydaje się interesujące, że sześć z nich przepływa przez północną część Polski i odwadnia obszary pojezierne (Wełna, Gwda, Drawa, Drwęca, Parsęta, Łupawa). Pewien związek regionalny zidentyfikowano także w przypadku trzech rzek karpackich (Wisłoka, San, Wisłok), których połowa rocznych zasobów wodnych odpływała najwcześniej w skali wielolecia w 1961 roku, najpóźniej natomiast w 1980 roku. Z kolei, dla dwóch rzek odwadniających północno-wschodnią część Polski (Biebrza, Liwiec), TPO_{wcz} oraz $TPO_{póź}$ zarejestrowano w dwóch sąsiadujących ze sobą latach (odpowiednio w 1975 i 1974 roku).



Rys. 35. Przykłady statystycznie istotnych trendów terminu połowy odpływu (TPO_j) w wieloleciu: A – trend malejący (Soła); B – trend rosnący (Wda).

Objaśnienia: 1 – TPO_j [dzień od 1 listopada], 2 – linia trendu (na wykresie podano funkcję trendu oraz współczynnik determinacji: R^2); statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

Jak już wspomniano, w ciągu wartości środkowych terminu połowy odpływu obliczonych dla całego zbioru rzek nie stwierdzono statystycznie istotnego trendu w wieloleciu. Niemniej jednak, istotne wieloletnie tendencje zidentyfikowano w przypadku ciągów rocznych TPO_j czterech rzek. W przypadku trzech z nich – Biebrza, Bóbr, Soła – ujemne współ-

czynniki kierunkowe funkcji trendu świadczą o coraz wcześniejszym występowaniu terminu połowy odpływu w wieloleciu (rys. 35A).

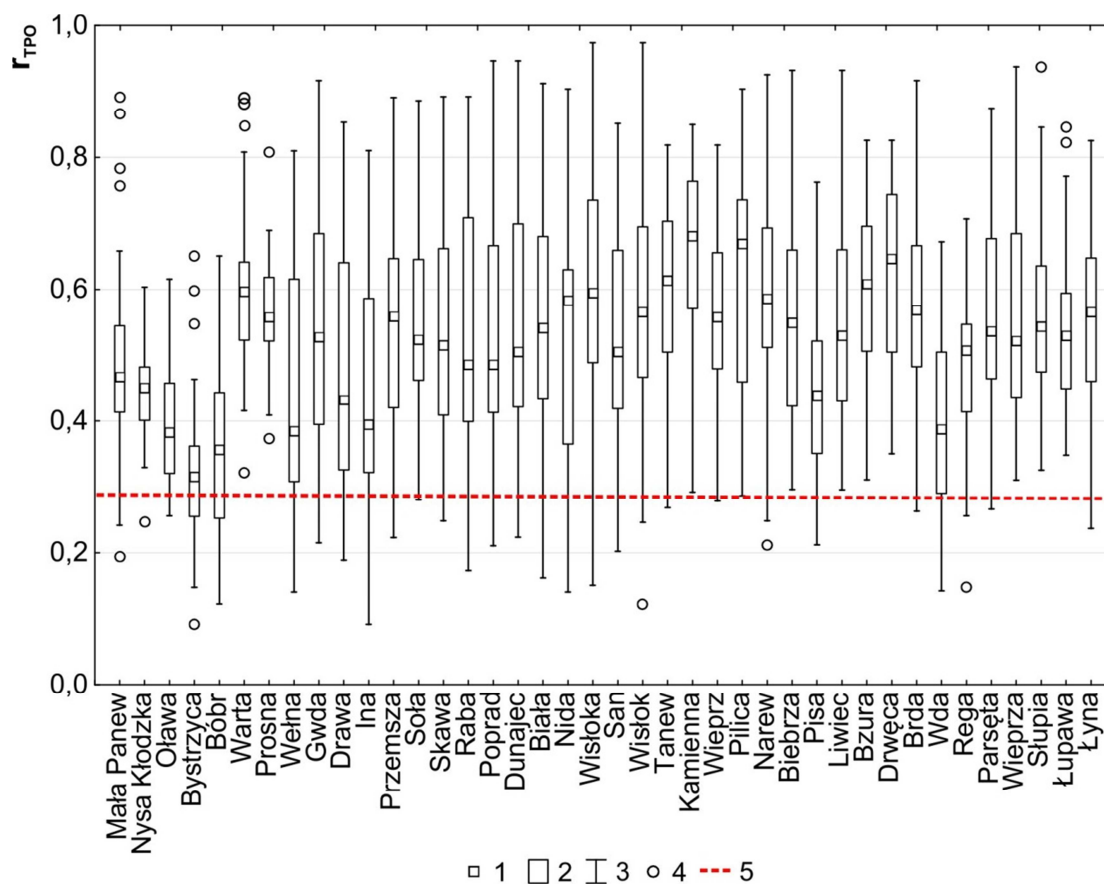
Trend rosnący zanotowano natomiast w przypadku Wdy i wskazuje on na występowanie coraz późniejszej daty odpływu połowy rocznych zasobów wodnych tej rzeki w skali badanego wielolecia (rys. 35B). Dla lepszej czytelności rysunku 35 i podobnych diagramów w całej pracy (np. rys. 43BC, rys. 55BC), roczne TPO_j połączono linią ciągłą pomimo, że są one zmiennymi dyskretnymi.

5.2.3. Korelacje przestrzenne.

Jednym z celów badawczych prezentowanej pracy była identyfikacja korelacyjnych związków przestrzennych między terminami połowy odpływu w badanych zlewniach. Ocenę siły współzmienności TPO_j w wieloleciu przeprowadzono w oparciu o współczynniki korelacji liniowej Pearsona. Współczynniki te obliczono pomiędzy szeregami rocznych terminów połowy odpływu każdej rzeki i odpowiadającymi im TPO_j pozostałych rzek badanego zbioru. W ten sposób, dla każdej rzeki otrzymano 39 współczynników korelacji, a cała macierz tych współczynników liczyła 1560 elementów. Do prezentacji wyników wykorzystano zastosowany wcześniej wykres typu *box&whisker* (rys. 36). Poszczególne „pudełka z wąsami” obrazują rozkład oraz zróżnicowanie współczynników korelacji liniowej między TPO_j danej rzeki i TPO_j innych rzek analizowanego zbioru. Procedura ta została powtórzona również w przypadku pozostałych zastosowanych miar sezonowości odpływu rzeczno, w tym: wskaźnika koncentracji odpływu (GMO), indeksu sezonowości (IS) oraz wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK) – por. rozdz.: 5.3.3., 5.4.3.

Na wstępie należy zauważyć, iż wszystkie obliczone współczynniki korelacji były dodatnie (rys. 36; zał. 5). Świadczy to o istnieniu wprost proporcjonalnej współzmienności pomiędzy badanymi szeregami czasowymi. Zatem, jeżeli połowa rocznych zasobów danej rzeki odpłynęła w danym roku relatywnie późno, to w pozostałych rzekach termin połowy odpływu był również stosunkowo późny. Taki sam charakter współzmienności dotyczy lat, w których zanotowano względnie wczesne TPO_j . Na uwagę zasługuje również fakt, że niemal wszystkie obliczone współczynniki korelacji były istotne statystycznie (statystyka testowa t–Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Statystyczną istotność potwierdzono bowiem w niemal 93% r_{TPO} .

Mediany zbiorów 39 współczynników korelacji terminów połowy odpływu mieszczą się we względnie szerokich granicach od 0,316 (Bystrzyca) do 0,680 (Kamienna). Jednocześnie, połowa obliczonych wartości środkowych r_{TPO} zmienia się w znacznie węższym przedziale, między 0,480 a 0,566. Analiza całego zbioru współczynników korelacji dowodzi, że wieloletnia zmienność TPO_j Bystrzycy najbardziej odbiegała od zmienności tej charakterystyki w pozostałych rzekach analizowanego zbioru. Z kolei, zmiany terminu połowy odpływu Kamiennej odznaczały się w skali wielolecia największym podobieństwem do zmian zachodzących w innych rzekach.



Rys. 36. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r_{TPO}) terminów połowy odpływu poszczególnych rzek z terminami połowy odpływu pozostałych rzek w badanym zbiorze. Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – linia wyznaczająca poziom statystycznej istotności r_{TPO} (test t-Studenta; $\alpha=0,05$).

W badanym zbiorze można wyróżnić rzeki, które charakteryzowały się względnie małym rozstępem współczynników korelacji r_{TPO} . Najmniejszą amplitudę między ekstremalnymi współczynnikami korelacji zanotowano dla Nysy Kłodzkiej i Oławy. Rzeki te odznaczały się jednocześnie relatywnie niskimi medianami tych współczynników. Stosunkowo małym zróżnicowaniem współczynników korelacji terminów połowy odpływu wyróżniały się również: Proсна, Drwęca, Łupawa i Bzura. W przypadku tych rzek, zakresy wartości nieodstających

oraz przedziały połowy liczebności obejmowały jednak znacznie wyższe współczynniki korelacji niż uzyskane dla Nysy Kłodzkiej oraz Oławy. Warto przy tym zauważyć, że rzeki wyróżniające się małym rozstępem obliczonych współczynników odwadniają różne regiony fizycznogeograficzne Polski, zatem nie zarysowały się tutaj żadne prawidłowości przestrzenne.

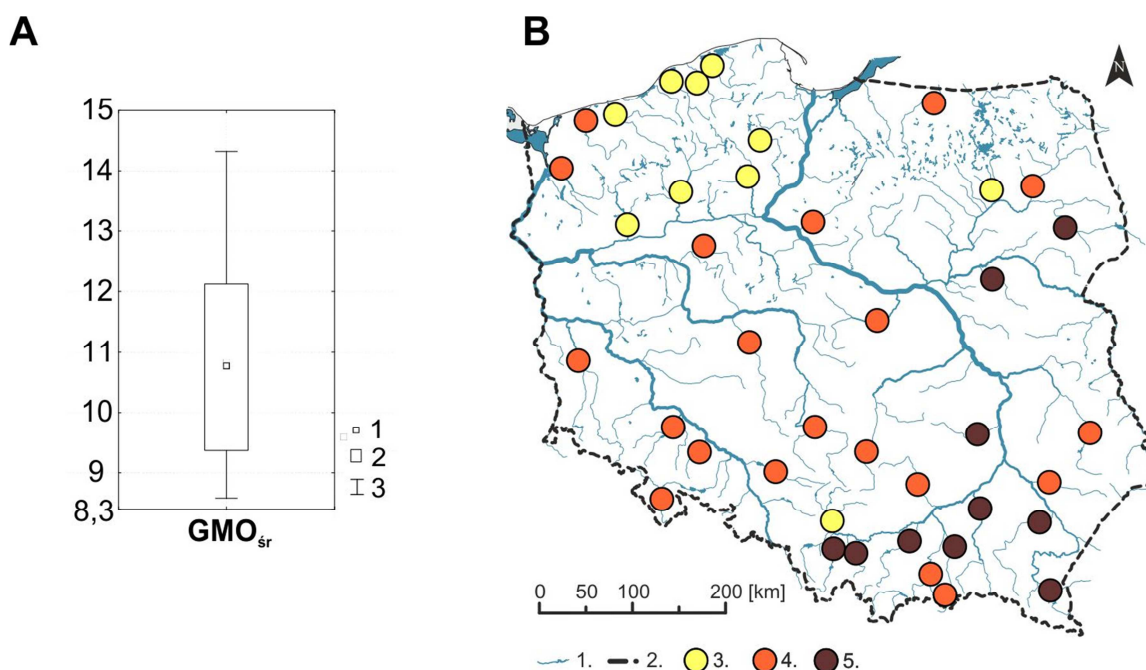
Największym zróżnicowaniem współczynników korelacji w badanym zbiorze charakteryzowały się natomiast rzeki karpackie, w tym: Wisłok, Wisłoka, Biała, Poprad oraz Dunajec. Jednocześnie, relatywnie dużym rozstępem tych współczynników odznaczały się także niektóre rzeki wyżynne (Nida) i pojezierne (Ina, Gwda). Szczególnymi przypadkami w badanym zbiorze były dwie rzeki z dorzecza Odry – Mała Panew oraz Bystrzyca. Pomimo dość wąskiego zakresu wartości nieodstających, wyróżniały się one skrajnie dużym rozstępem obliczonych współczynników korelacji. W przypadku obu rzek zasadniczą przyczynę stanowiły tutaj współczynniki odstające (głównie dodatnio).

Największą siłą współzmienności terminów połowy odpływu w badanej grupie charakteryzowały się rzeki, które odwadniają obszary o podobnych warunkach fizycznogeograficznych, a zwłaszcza cieki sąsiadujące z sobą (rys. 36; zał. 5). Najwyższe współczynniki, świadczące o bardzo silnej korelacji TPO_j zanotowano dla: Wisłoka i Wisłoki ($r=0,974$), Popradu i Dunajca ($r=0,947$), Wieprzy i Słupi ($r=0,937$) oraz Liwca i Biebrzy ($r=0,932$).

5.3. Wskaźnik koncentracji odpływu.

5.3.1. Przestrzenne zróżnicowanie.

Średnie wieloletnie wskaźniki koncentracji odpływu wybranych rzek (GMO_{sr}) zawierają się w relatywnie wąskim przedziale między 8,58 a 14,32 (rys. 37AB; zał. 6). Jednak z uwagi na uwzględnienie w tych badaniach zlewni o zróżnicowanych warunkach fizycznogeograficznych, amplituda ta jest większa niż rozstęp uzyskany w przypadku zbioru rzek karpackich (Soja 2002; Jokieli, Tomalski 2017), czy też posterunków wodowskazowych zlokalizowanych wzdłuż biegu Wisły (Jokieli, Tomalski 2018). Najbardziej wyrównanym przepływem w cyklu rocznym w analizowanej grupie rzek odznaczała się Łupawa, zaś najwyższą koncentracją przepływu charakteryzowała się Biała. Połowa obliczonych wskaźników jest niższa od 10,83 (mediana). Wartość mediany (środkowa) jest zatem zbliżona do średniego wieloletniego wskaźnika koncentracji odpływu, obliczonego jako średnia z GMO_{sr} dla wszystkich analizowanych rzek (10,90). W co czwartej badanej zlewni, GMO_{sr} przekroczył 12,15. Na podstawie położenia mediany oraz zakresu wartości nieodstających należy stwierdzić, że rozkład GMO_{sr} jest lekko skośny dodatnio.



Rys. 37. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010. Objaśnienia: A: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających; B: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa; Średni wieloletni wskaźnik koncentracji odpływu (GMO_{sr}): 3 – niski (9,35 i mniejszy), 4 – przeciętny (9,36–12,14), 5 – wysoki (12,15 i większy).

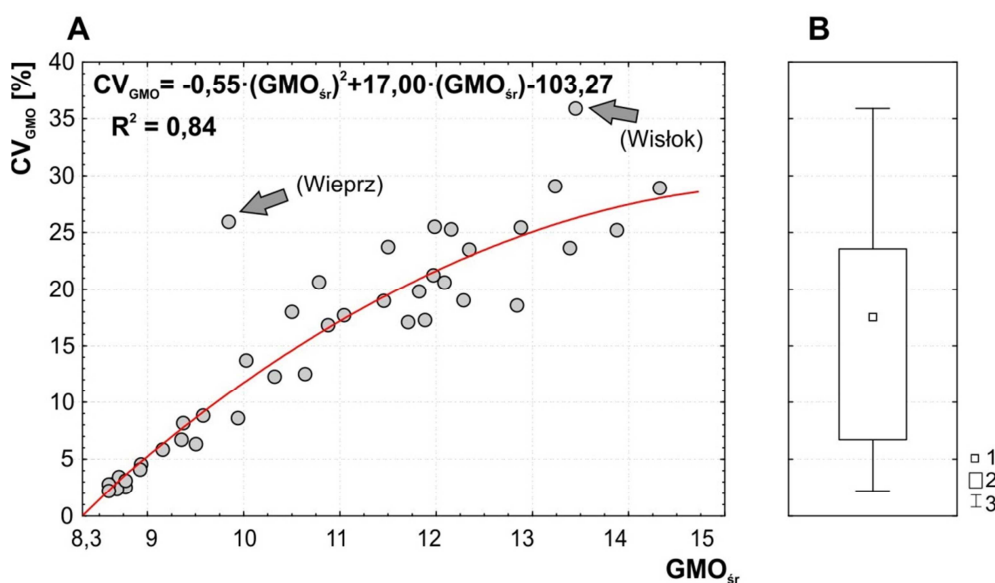
Przy zaprezentowaniu przestrzennego rozmieszczenia średniego wieloletniego wskaźnika koncentracji odpływu (rys. 37B) wykorzystano te same zasady konstrukcji oraz kryteria, które zastosowano w przypadku TPO_{sr} (por. rys. 29). Każdy GMO_{sr} mieszczący się w rozstępie międzykwartylowym uznano za przeciętny. Za niskie wskaźniki koncentracji odpływu uznano te, które są mniejsze od wartości pierwszego kwartyła. Natomiast za wysokie GMO_{sr} – większe od kwartyła trzeciego.

W przestrzennym rozmieszczeniu GMO_{sr} można zaobserwować wyraźne prawidłowości regionalne. Należy zauważyć, że najniższe wskaźniki koncentracji odpływu, świadczące o najbardziej wyrównanym przepływie w cyklu rocznym, wyróżniały rzeki odwadniające obszary Pojezierza Pomorskiego (Łupawa, Słupia, Brda, Wda, Drawa, Wieprza, Gwda, Parsęta) i Mazurskiego (Pisa). Wydaje się zatem oczywiste, że decydujące znaczenie ma tutaj występowanie jezior, a jezior przepływowych w szczególności. Zwiększają one zdolności retencyjne zlewni i spowalniają przepływ, przez co zmienność przepływu rzeczno-głaznego w cyklu rocznym jest relatywnie mała. Szczególnym przypadkiem w analizowanym zbiorze jest Przemsza, która nie jest rzeką pojezierną, a jednak wyróżnia się bardzo wyrównanymi przepływami w ciągu roku ($GMO_{sr} = 8,63$). Należy podkreślić, że rzeka ta w badaniach przeprowadzonych przez Soję (2002) charakteryzowała się najniższym wskaźnikiem koncentracji średnich miesięcznych przepływów w latach 1951–1995. Wskaźnik GMO wyniósł wówczas 8,38, co oznacza, że był niemal równy dolnej granicy wartości tej miary (8,3). W opinii wspomnianego Autora przyczyn bardzo wyrównanych przepływów Przemszy w cyklu rocznym należy upatrywać w tym, że jej zlewnia charakteryzuje się wysokim poziomem antropopresji, przez co reżim rzeczny jest w znacznym stopniu przekształcony wskutek działalności człowieka – stabilne w czasie zrzuty wód allochtonicznych i gospodarka wodna na zbiornikach.

Najwyższymi GMO_{sr} w analizowanym zbiorze odznaczały się niemal wszystkie badane rzeki karpackie (Biała, Soła, Wisłok, Raba, Wisłoka, Skawa, San). Na tej podstawie można zatem wnioskować, że najbardziej skoncentrowanym przepływem charakteryzują się rzeki o reżimie pluwialno-niwalnym lub niwalno-pluwialnym, które wyróżniają się wyraźnymi okresami zwiększonego przepływu podczas letnich wezbrań opadowych lub wiosennych wezbrań roztopowych (Dynowska 1994; Soja 2002; Wrzesiński 2017a). Relatywnie wysokie GMO_{sr} zanotowano również dla Liwca oraz Narwi. Obie rzeki posiadają reżim niwalny silnie wykształcony, zatem w tym przypadku wzrost koncentracji odpływu może wynikać ze wzmożonego zasilania w okresie wiosennych roztopów (Dynowska 1972; 1994). Wydaje się interesujące, że stosunkowo wysokim średnim wieloletnim wskaźnikiem koncentracji odpływu odznaczała się także Kamienna. Powyżej uwzględnionego przekroju kontrolnego

na Kamiennej funkcjonuje kilka sztucznych zbiorników wodnych (m. in. Brody Iłżeckie, Wióry), które mają zasadniczy wpływ na modyfikację warunków odpływu rzeczno (Fal i in. 1997; Zbiornik wodny Wióry na Świślinie 2017; Biernat i in. 2011).

Współczynniki zmienności wieloletniej (CV_{GMO}) wskazują na mały bądź przeciętny poziom dyspersji wskaźnika koncentracji odpływu w badanej grupie zlewni (zał. 6). Amplituda CV_{GMO} zawierała się w dość szerokim przedziale od 2,2% (Łupawa) do 35,9% (Wisłok). Co czwarta rzeka charakteryzowała się CV_{GMO} mniejszym niż 6,7% (rys. 38B). Połowa obliczonych CV_{GMO} była natomiast większa od mediany równej 17,5%. Natomiast średnia zmienność wieloletnia wskaźników koncentracji odpływu w badanym zbiorze była zaś od niej mniejsza i wyniosła 15,7%.

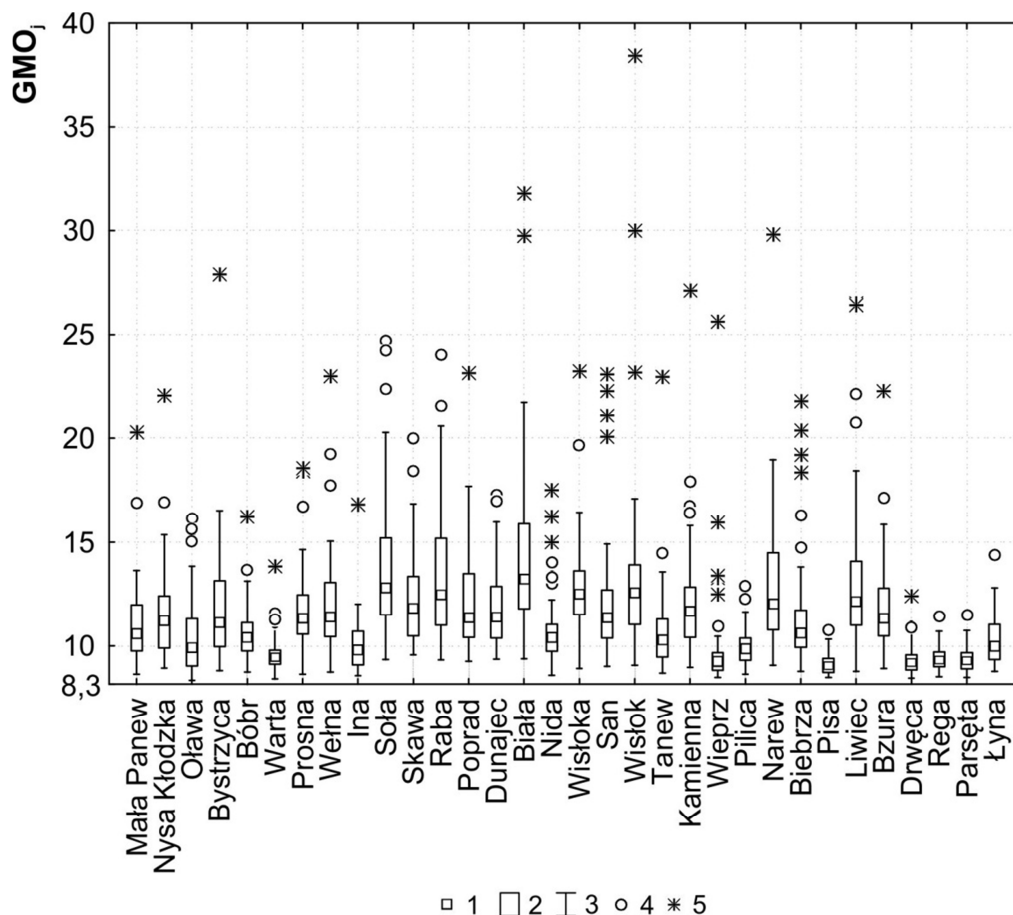


Rys. 38. Korelacja między współczynnikami zmienności wskaźnika koncentracji odpływu (CV_{GMO}) i średnimi wieloletnimi wskaźnikami koncentracji odpływu (GMO_{sr}) (A) oraz zróżnicowanie współczynnika zmienności CV_{GMO} w badanej grupie zlewni w wieloletniu 1951–2010 (B).

Objaśnienia: A: podano funkcję regresji oraz współczynnik determinacji R^2 ; B: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających.

Warto podkreślić, iż w przypadku badanych rzek dostrzeżono statystycznie istotną (test t–Studenta; $\alpha=0,05$), dodatnią korelację między współczynnikiem zmienności wskaźnika koncentracji odpływu oraz średnim wieloletnim wskaźnikiem koncentracji odpływu (rys. 38A). Dla związku korelacyjnego GMO_{sr} oraz CV_{GMO} najlepsze dopasowanie otrzymano dla funkcji wielomianowej drugiego stopnia. Rzeki, które charakteryzują się wysokim GMO_{sr} , jednocześnie odznaczają się dużym CV_{GMO} i odwrotnie. Należy w tym przypadku zwrócić również uwagę na wysoki współczynnik determinacji zidentyfikowanej funkcji regresji (R^2). Aż 84% zmienności CV_{GMO} jest determinowana zmianą GMO_{sr} . Od wyznaczonej postaci

funkcji dość wyraźnie odstają zmienne dwóch rzek, przy czym odchylenia mają ten sam kierunek. W przypadku Wieprza przy dość niskim GMO_{sr} uzyskano relatywnie wysoki CV_{GMO} . Dla Wisłoka natomiast, względnie wysokiemu GMO_{sr} towarzyszy również niewspółmiernie wysoka zmienność wskaźnika pory koncentracji odpływu.



Rys. 39. Zróżnicowanie rocznych wskaźników koncentracji odpływu (GMO_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

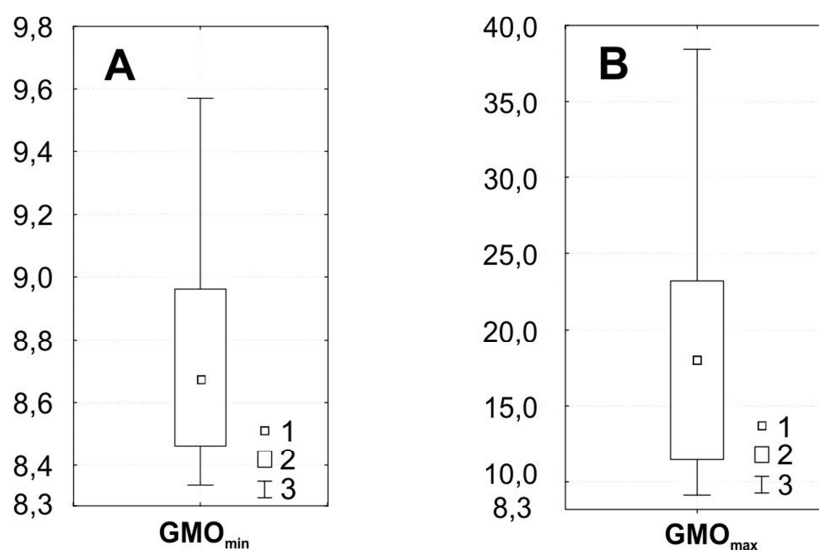
Objaśnienia: zbiór rzek niepełny (wyjaśnienie w tekście); 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne.

Wskaźniki koncentracji odpływu zawierały się w analizowanym zbiorze rzek w dość szerokim przedziale (rys. 39; zał. 6). W skali wielolecia ekstremalne wartości GMO_j wyniosły odpowiednio 8,34 (Przemsza) oraz 38,44 (Wisłok). W przypadku ośmiu rzek (Gwda, Drawa, Przemsza, Brda, Wda, Wieprza, Słupia, Łupawa), amplituda pomiędzy najniższym i najwyższym GMO_j była tak mała (poniżej 2,00), że w celu zapewnienia jak najlepszej prezentacji obliczonych wskaźników całego zbioru, wskaźniki wymienionych rzek nie zostały uwzględnione na prezentowanym wykresie typu *box&whisker*. Biorąc pod uwagę tę i inne cechy rozkładu wskaźnika koncentracji odpływu można zatem uznać, że rzeki te odznaczały się w ba-

danej grupie najbardziej wyrównanym przepływem w cyklu rocznym. Warto przypomnieć, że te same rzeki wyróżniały się również najniższymi GMO_{sr} w analizowanym zbiorze.

Wartości środkowe GMO_j (mediany) uzyskane na podstawie wieloletnich szeregów poszczególnych rzek mieściły się w zakresie od 8,51 do 13,22. W co czwartej rzece mediana GMO_j była mniejsza niż 10,37. Najniższe wartości środkowe GMO_j charakteryzują wszystkie rzeki pojezierne i większość nizinnych oraz omówioną wcześniej Przemszą. Jednocześnie, najwyższe mediany, świadczące o najbardziej skoncentrowanym przepływie w cyklu rocznym, uzyskano dla rzek karpackich.

Niskie wskaźniki koncentracji odpływu w analizowanych zlewniach były mało zróżnicowane (rys. 40A; zał. 6). Absolutnie najniższy GMO_{min} uzyskano dla Przemszy – wyniósł on 8,34. Był on zatem niemal równy najniższej możliwej wielkości wskaźnika GMO . Najwyższy GMO_{min} obliczono natomiast dla Skawy i osiągnął on 9,58. Różnica między ekstremalnymi GMO_{min} wyniosła zatem zaledwie 1,23. Połowa GMO_{min} była mniejsza niż 8,67, przy czym rozkład tego wskaźnika charakteryzuje skośność dodatnia.



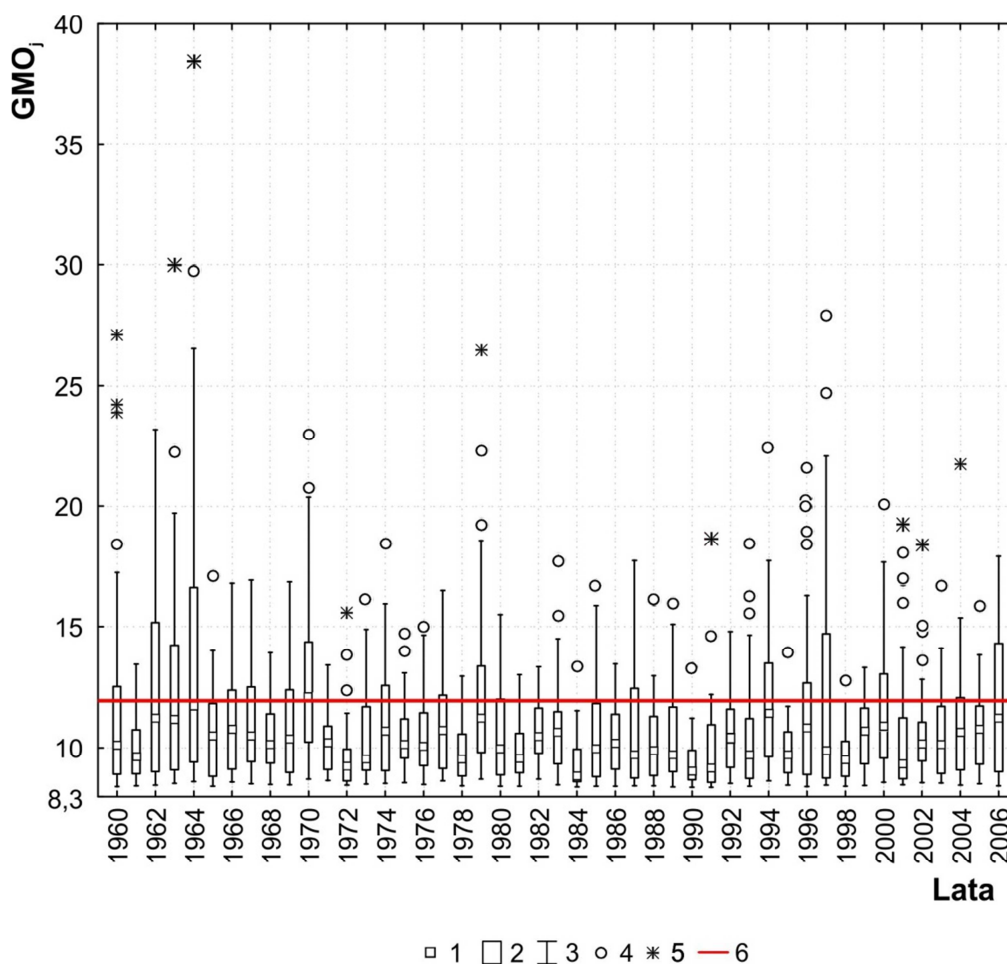
Rys. 40. Zróżnicowanie najniższych (GMO_{min}) – A i najwyższych (GMO_{max}) – B wskaźników koncentracji odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: A, B: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających.

W porównaniu do GMO_{min} , najwyższe wskaźniki koncentracji odpływu w badanych zlewniach były bardziej zróżnicowane (rys. 40B; zał. 6). Najniższy GMO_{max} w analizowanym zbiorze wyniósł 9,15 (Łupawa), najwyższy natomiast – 38,44 (Wisłok). Amplituda GMO_{max} w wybranych zlewniach była zatem relatywnie duża (29,29). Rozkład GMO_{max} cechuje się również skośnością dodatnią. Połowa obliczonych maksymalnych wskaźników koncentracji odpływu jest większa niż 18,00. Co czwarty GMO_{max} przekracza natomiast 23,18.

5.3.2. Zmiany i fluktuacje w wieloleciu.

Interesujące wnioski płyną z analizy zmian wskaźnika koncentracji odpływu w wybranych zlewniach w wieloleciu 1960–2006 (rys. 41). Warto zauważyć, że wartości środkowe (mediany) tego wskaźnika, wyznaczone dla poszczególnych lat analizowanego okresu, były mało zróżnicowane. Badane zlewnie charakteryzowały się najbardziej wyrównanym odpływem w 1984 roku, kiedy mediana GMO_j określona dla całego zbioru wyniosła zaledwie 8,83. Jednocześnie, największą koncentrację odpływu zanotowano w 1970 roku. Co druga analizowana zlewnia wyróżniała się wówczas wskaźnikiem koncentracji odpływu większym niż 12,11. Amplituda pomiędzy skrajnymi medianami GMO_j w skali wielolecia była zatem równa zaledwie 3,28.



Rys. 41. Wieloletnie zmiany wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne, 6 – średni wieloletni wskaźnik koncentracji odpływu (10,90), obliczony jako średnia z $GMO_{s,r}$ dla wszystkich badanych rzek.

Niewielkie zróżnicowanie w zbiorze wartości środkowych wskaźników koncentracji jest również widoczne, jeżeli weźmiemy pod uwagę ich nieznaczące odchylenia względem

linii, która wyznacza średni wieloletni wskaźnik koncentracji odpływu dla całego zbioru rzek (GMO_{sr}). Warto przy tym zauważyć, że jedynie w przypadku siedmiu lat wskazanego wyżej okresu, mediany GMO_j były większe od wspomnianej średniej z wielolecia ($GMO_{sr}=10,90$). Sytuacja taka miała miejsce w latach: 1962, 1963, 1964, 1970, 1979, 1994, 2006.

Na podstawie wartości środkowych GMO_j należy również stwierdzić (rys. 41), że w skali wielolecia, odpływ w całym zbiorze zlewni nie wykazuje tendencji ani do spadku, ani do wzrostu koncentracji. W oparciu o test Manna–Kendalla (dla $\alpha=0,05$) potwierdzono brak statystycznie istotnego, wieloletniego trendu w szeregu median rocznych GMO_j obliczonych dla całego badanego zbioru rzek.

W wieloleciu 1960–2006 można jednak dostrzec dość znaczne zróżnicowanie rozstępu GMO_j . Amplituda między ekstremalnymi GMO_j w poszczególnych latach wynosiła od 4,38 do 29,86. Największą skalą rozstępu GMO_j charakteryzowała się pierwsza połowa lat 60. XX wieku oraz ostatnia dekada rozpatrywanego wielolecia. W analizowanym okresie można wyróżnić też lata, w których wystąpiło małe zróżnicowanie poziomu koncentracji odpływu. Relatywnie niewielka zmienność GMO_j cechowała zaś dekadę lat 70. (wyłączając 1979 rok) oraz lata 80. ubiegłego wieku. W co czwartym roku okresu 1960–2006 rozstęp GMO_j był mniejszy niż 5,85. Najmniejszą zmiennością GMO_j odznaczały się lata: 1971, 1978, 1981, 1982, 1984, 1990, 1998, 1999 – rozstęp między ekstremalnymi wskaźnikami koncentracji odpływu nie przekraczał wówczas 5,00. Z kolei, duże zróżnicowanie GMO_j (rozstęp wskaźnika większy niż 15,00) zaobserwowano w latach: 1960, 1979, 1997. Zdecydowanie największym zróżnicowaniem wskaźnika koncentracji odpływu w badanej grupie zlewni wyróżniały się natomiast lata 1964 i 1963. Amplituda skrajnych GMO_j wyniosła wtedy odpowiednio: 29,86 oraz 21,49.

Warto zwrócić uwagę na ekstremalnie wysokie GMO_j występujące w kilku latach badanego wielolecia. Należy przypomnieć, że wartość wskaźnika GMO zwykle wzrasta, jeżeli w danym roku hydrologicznym wystąpi długotrwała (przyp. autora) faza wzmożonego odpływu (Soja 2002). Wydaje się, iż na podstawie prezentowanego wykresu niejednokrotnie można dostrzec pewną koincydencję między ekstremalnie wysokimi GMO a bardzo wysokimi i długotrwałymi wezbrzeniami występującymi w poszczególnych latach. Jako przykład może posłużyć 1960 rok, w którym na przełomie lipca i sierpnia miało miejsce duże wezbranie opadowe (Fal i in. 1997). Fale wezbraniowe osiągały wówczas największą objętość w dorzeczu Wisły. I właśnie w tym roku najwyższe wskaźniki koncentracji odpływu zanotowano w zlewniach: Raby, Dunajca i Kamiennej. Z kolei, ekstremalnie wysoki GMO zarejestrowany dla Liwca w 1979 roku był najprawdopodobniej konsekwencją największego w ska-

li wielolecia wezbrania roztopowego, które znaczne rozmiary osiągnęło w całej północno-wschodniej Polsce (Bartnik, Jokieli 2012). Należy również przypuszczać, że ekstremalnie duża koncentracja odpływu Białej w 2001 roku również była związana z wystąpieniem na przełomie lipca i sierpnia ogromnego wezbrania opadowego, które uformowało się głównie w dorzeczu górnej Wisły, a w niektórych rzekach, w tym w Białej, trwało bardzo długo.

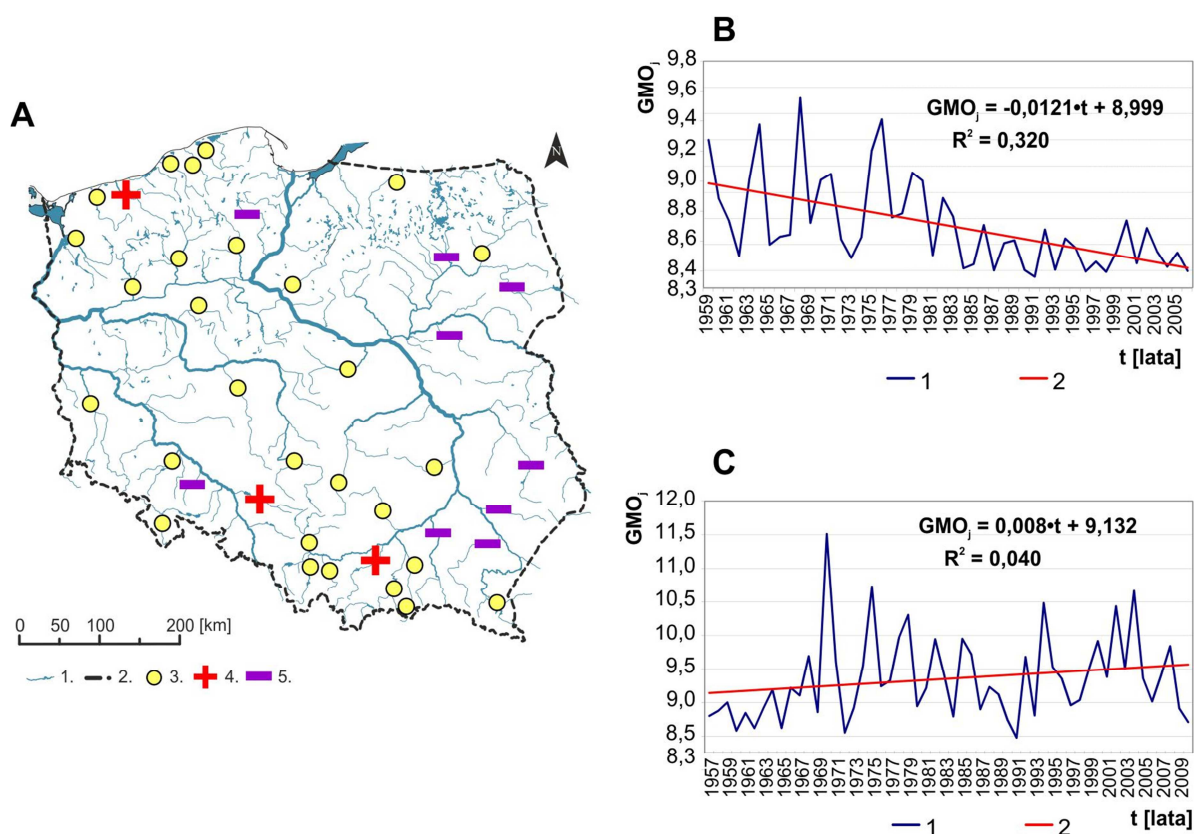
Interesująca wydaje się również identyfikacja okresów (sekwencji lat), w których zanotowano najniższe i najwyższe wskaźniki koncentracji odpływu w badanych zlewniach (rys 41; por. zał. 6). Zdecydowanie najwięcej GMO_{min} odnotowano w latach 90. XX wieku. W tej dekadzie, aż 16 rzek z analizowanego zbioru wyróżniało się najbardziej wyrównanym przepływem w skali wielolecia. Relatywnie dużą liczbę GMO_{min} (po 7 przypadków) zanotowano również w latach 70. oraz 80. ubiegłego wieku. Należy zauważyć, że szczególnie wyróżniły się pod tym względem lata 1990 i 1984, w których odpowiednio w sześciu i pięciu rzekach wystąpił ekstremalnie niski wskaźnik koncentracji. W 1990 roku odnosi się to głównie do rzek płynących w południowej, wyżynnej części Polski (Mała Panew, Oława, Przemsza, Nida, Kamienna). Z kolei, w 1984 roku najbardziej wyrównanymi przepływami w skali wielolecia charakteryzowały się rzeki przepływające przez obszary nizinne (Warta, Proсна, Biebrza, Liwiec) i pojezierne (np. Łyna).

Największą liczbą GMO_{max} w badanym okresie wyróżniały się natomiast dekady lat: 60., 70. i 90. XX wieku. Wystąpiło wówczas odpowiednio: 13, 12 i 10 maksymalnych wskaźników koncentracji odpływu. Lata charakteryzujące się znaczną liczbą GMO_{max} nie były jednak równomiernie rozłożone w wieloleciu. Należy zwrócić szczególną uwagę na 1970 rok, w którym w co czwartej badanej rzece zanotowano największą koncentrację przepływu w wieloleciu. Warto podkreślić, że GMO_{max} zarejestrowano wówczas głównie w rzekach odwadniających obszary pojezierne (Wełna, Gwda, Drawa, Ina, Drwęca, Rega, Parsęta, Wieprza, Łupawa, Łyna). Wydaje się, że wzrost koncentracji odpływu w tym roku mógł mieć związek z wystąpieniem wiosennego wezbrania roztopowego, które objęło głównie północną część Polski (Fal i in. 1997).

W przypadku ośmiu rzek badanego zbioru maksymalny wskaźnik koncentracji odpływu uzyskano dla 1997 roku. Wskaźnik GMO_{max} wystąpił wówczas w rzekach dorzecza Odry (Mała Panew, Nysa Kłodzka, Oława, Bystrzyca, Bóbr, Warta) oraz niektórych ciekach górnej Wisły (Przemsza, Soła). Wzrost koncentracji odpływu w tym roku mógł być zatem konsekwencją wystąpienia lipcowej powodzi opadowej, która najbardziej katastrofalne rozmiary osiągnęła właśnie w dorzeczu górnej Odry (Bartnik, Jokieli 2012).

Relatywnie dużo GMO_{max} zanotowano również w 1964 roku. Najbardziej skoncentrowany przepływ w skali wielolecia wystąpił wtedy w ośmiu rzekach dorzecza Wisły. Widoczne były przy tym pewne prawidłowości regionalne, bowiem zlewnie te są położone w południowo-wschodniej (Nida, Wisłoka, San, Wisłok, Tanew, Kamienna, Wieprz) oraz północno-wschodniej (Narew, Liwiec) części Polski.

W analizowanym zbiorze można również wskazać rzeki, które w tych samych latach charakteryzowały się najmniejszą oraz największą koncentracją odpływu w wieloleciu. Należy także podkreślić, że rzeki te odwadniają zwykle te same bądź sąsiadujące z sobą regiony Polski. Dla Małej Panwi, Oławy oraz Przemszy GMO_{min} i GMO_{max} zanotowano odpowiednio w 1990 i 1997 roku. W przypadku Gwdy, Drawy oraz Iny przepływ był najbardziej wyrównany w 1996 roku, a największą koncentracją odznaczał się w 1997 roku. Dla dwóch rzek karpacczych: Wisłoka i Wisłoki, GMO_{min} uzyskano w 2008 roku, jednocześnie w obu z nich GMO_{max} wystąpiły w 1964 roku.



Rys. 42. Przestrzenne rozmieszczenie wieloletnich trendów wskaźników koncentracji odpływu (GMO) w badanym zbiorze rzek Polski w wieloleciu 1951–2010 (A) oraz przykłady statystycznie istotnych trendów GMO : B – trend malejący (Wda), C – trend rosnący (Parsęta).

Objaśnienia: A: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – trend nieistotny, 4 – istotny trend dodatni, 5 – istotny trend ujemny; B, C: 1 – GMO_t , 2 – linia wieloletniego trendu (na wykresie podano funkcję trendu oraz współczynnik determinacji: R^2); statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

Warto również nadmienić, że dla dwunastu rzek z badanego zbioru zidentyfikowano statystycznie istotne tendencje w wieloletnich szeregach wskaźników koncentracji (rys. 42). W przypadku dziewięciu z nich był to trend malejący. Trendy stopniowego wyrównywania przepływu w skali wielolecia stwierdzono, między innymi, w niektórych prawostronnych dopływach Wisły odwadniających południowo-wschodnią (Wisłoka, Wisłok, Tanew, Wieprz) oraz północno-wschodnią (Narew, Pisa, Liwiec) część Polski. Trend malejący zidentyfikowano też w wieloletnim szeregu *GMO* obliczonym dla Wdy. Wieloletni wzrost koncentracji przepływu charakteryzował natomiast: Małą Panew, Rabę i Parsętę.

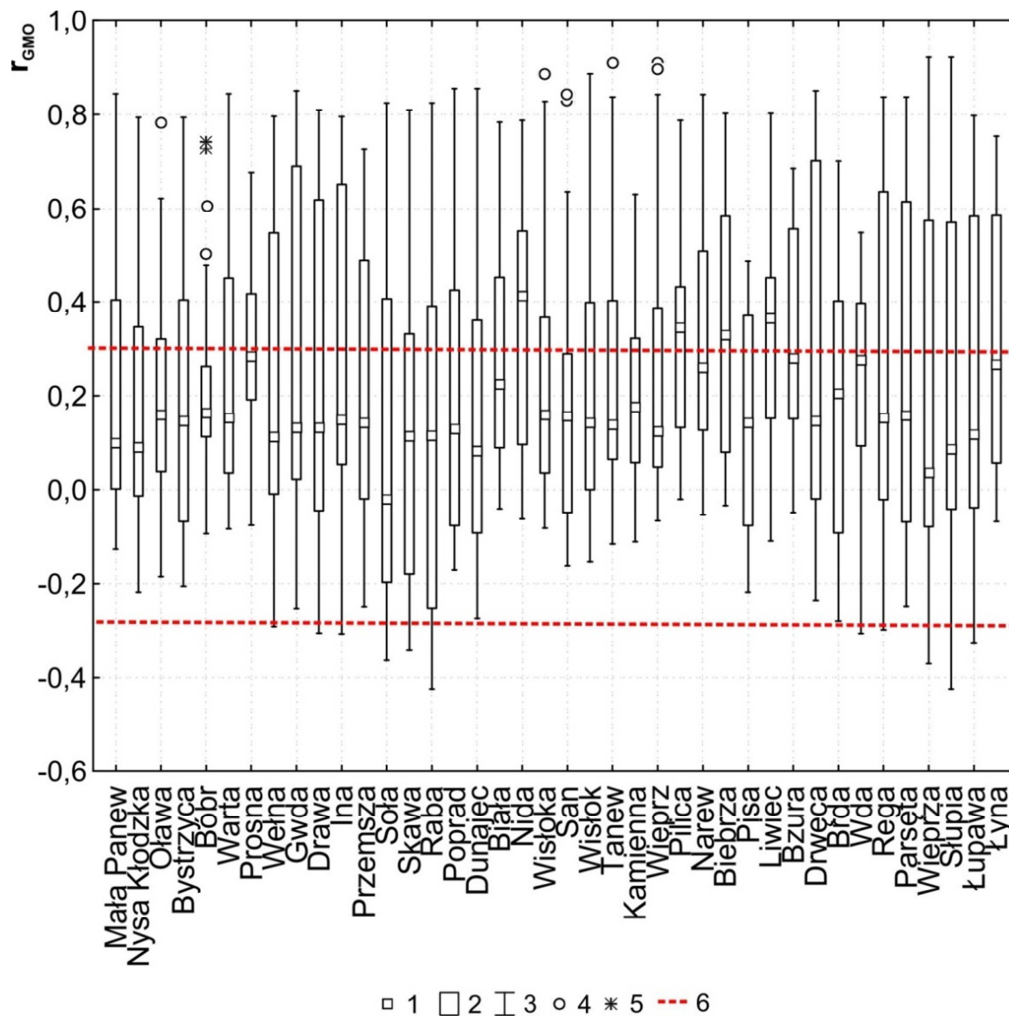
5.3.3. Korelacje przestrzenne.

Interesujące wnioski płyną z analizy korelacyjnych związków przestrzennych wskaźników koncentracji odpływu w badanych zlewniach (rys. 43; zał. 7). Warto zwrócić uwagę, że niespełna 40% z 1560 obliczonych współczynników korelacji było statystycznie istotnych (test t–Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Wśród nich uzyskano 610 dodatnich współczynników korelacji i 22 ujemne. Ujemne współczynniki korelacji świadczą o istnieniu asynchronicznej współzmienności pomiędzy szeregami wskaźników *GMO*. Oznacza to, że jeżeli wybrana rzeka z badanego zbioru charakteryzowała się wysokim *GMO* w danym roku, to w pozostałych rzekach dominowała relatywnie niska koncentracja odpływu i na odwrót. Należy podkreślić, że takich cech nie stwierdzono w zbiorze terminów połowy odpływu (*TPO*) – tam wszystkie istotne współczynniki korelacji były dodatnie i dowodziły istnienia związków synchronicznych (por. rozdz. 5.2.3.).

Statystycznie istotne, dodatnie mediany zbioru współczynników korelacji *GMO* uzyskano jedynie dla czterech rzek – Nidy, Pilicy, Biebrzy i Liwca. Można zatem uznać, że wieloletnia zmienność wskaźnika koncentracji odpływu wymienionych rzek była w wieloleciu najbardziej podobna do zmienności *GMO* pozostałych rzek badanego zbioru.

W skali wieloletniej wskaźniki koncentracji odpływu poszczególnych rzek były ze sobą raczej słabo skorelowane. Jednak w przypadku niektórych zlewni zauważono statystycznie istotne i dość mocne związki korelacyjne. Podobnie jak w przypadku współczynników korelacji terminów połowy odpływu (patrz. rozdz. 5.2.3.), najsilniejszą, synchroniczną współzmiennosc wskaźników koncentracji odpływu odnotowano dla rzek przepływających przez te same regiony fizycznogeograficzne Polski (zał. 7). Dla przykładu, bardzo silną, dodatnią korelacją *GMO* charakteryzowały się: Wieprza i Słupia ($r=0,922$), Wieprz i Tanew ($r=0,913$), Wisłok i Wisłoka ($r=0,887$) oraz Dunajec i Poprad ($r=0,855$). Warto jednocześnie zauważyć,

że niemal wszystkie wymienione zlewnie (wyłączając Wieprz i Tanew) wyróżniały się również najwyższą siłą współzmienności terminów połowy odpływu (TPO).



Rys. 43. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona wskaźników koncentracji odpływu (r_{GMO}) poszczególnych rzek z wskaźnikami koncentracji odpływu pozostałych rzek w badanym zbiorze.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne, 6 – linie wyznaczające zakres statystycznej istotności r_{GMO} (test t-Studenta; $\alpha=0,05$)

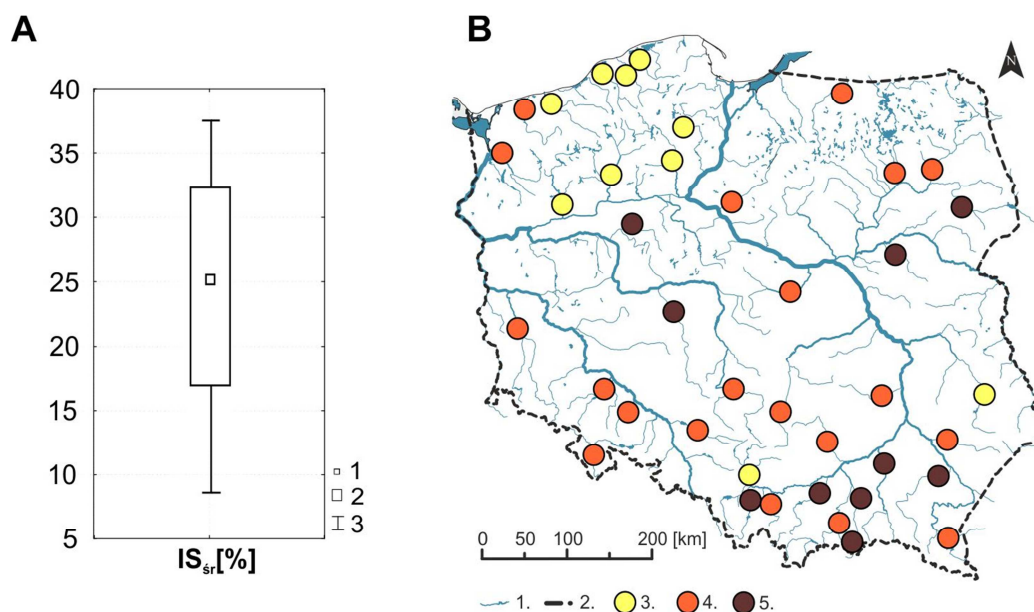
Statystycznie istotną, odwrotnie proporcjonalną współzmiennność wskaźników koncentracji odpływu stwierdzono jedynie w przypadku jedenastu rzek z badanego zbioru. Ujemną współzmiennność GMO zanotowano między rzekami karpackimi a pojeziernymi i przymorskimi. Oznacza to, że jeśli w danym roku rzeki karpackie cechują się wysoką koncentracją przepływu, to rzeki pojezierne i przymorskie mają przepływ równomiernie rozłożony w czasie. Możliwe są oczywiście powiązania odwrotne. Asynchroniczne, istotne statystycznie

związki korelacyjne między wektorami *GMO* zanotowano między innymi w przypadkach: Raby i Słupi ($r=-0,424$), Wieprzy i Raby ($r=-0,370$) oraz Soły i Słupi ($r=-0,363$).

5.4. Indeks sezonowości i wskaźnik pory koncentracji odpływu.

5.4.1. Przestrzenne zróżnicowanie.

Średnie wieloletnie indeksy sezonowości przepływu wybranych rzek (IS_{sr}) mieściły się w dość szerokim zakresie między 8,5% a 37,0% (rys. 44; zał. 8). Przedział ten jest szerszy od podobnego uzyskanego dla przekrojów wodowskazowych zlokalizowanych wzdłuż biegu Wisły. Indeksy sezonowości przepływu tej rzeki zawierały się bowiem w granicach od 22,4% do 31,8% (Jokiel, Tomalski 2018). Amplituda między skrajnymi IS_{sr} dla badanych rzek jest również zdecydowanie większa od uzyskanej dla zbioru rzek karpacckich, w którym indeks sezonowości odpływu zawierał się między 18,7% a 28,1% (Jokiel, Tomalski 2017). Jednocześnie zakres IS_{sr} analizowanych rzek jest mniejszy od przedziałów zmienności indeksów sezonowości obliczonych dla: odpływu podziemnego (Tomaszewski 2001), odpływu niskiego w Polsce (Bartnik 2005) i odpływu całkowitego w Polsce środkowej (Bartnik, Jokiel 2001).



Rys. 44. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego indeksu sezonowości odpływu (IS_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: A: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających; B: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa; Średni wieloletni indeks sezonowości odpływu (IS_{sr}): 3 – niski (17,0% i mniejszy), 4 – przeciętny (17,1%–30,9%), 5 – wysoki (31,0% i wyższy).

Źródło: rys. 44A – Jokiel P., Stanisławczyk B., 2016; zmienione.

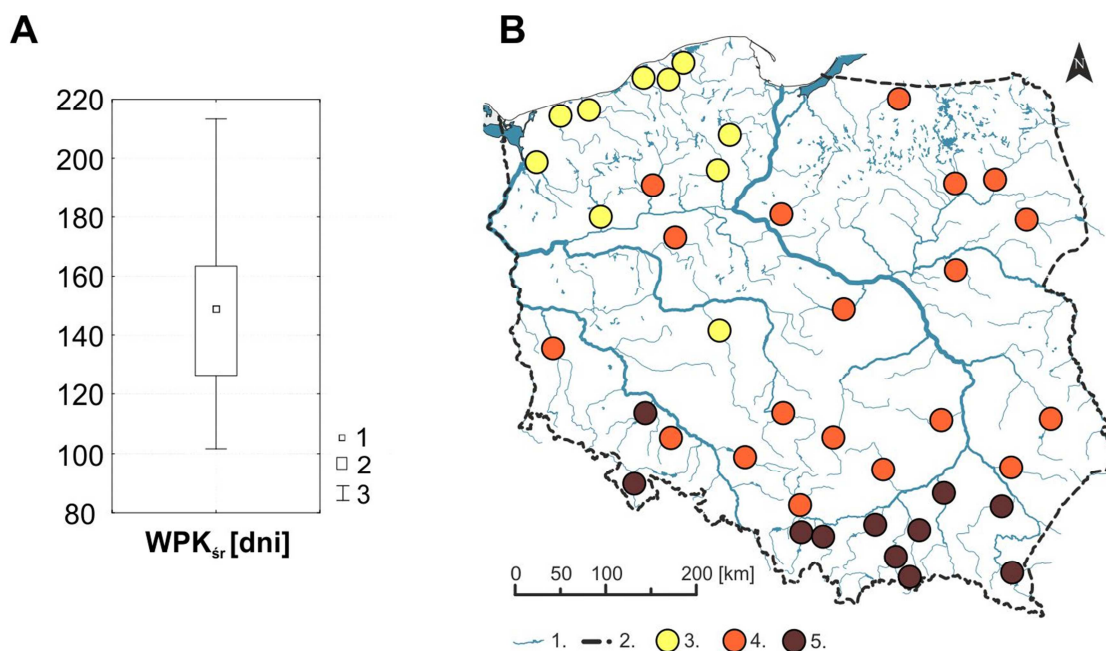
Wartość środkowa IS_{sr} wyznaczona dla wszystkich rzek wynosi blisko 25%. Co czwarta rzeka odznacza się indeksem sezonowości większym niż 31%. Położenie mediany na wykresie oraz zakres wartości nieodstających wskazuje, iż rozkład IS_{sr} jest zbliżony do normalnego, chociaż charakteryzuje się niewielką ujemną skośnością.

W przestrzennym rozmieszczeniu rzek o najniższych IS_{sr} można zauważyć pewne prawidłowości regionalne. Okazuje się bowiem, że bardzo wyrównanym przepływem w cyklu rocznym odznaczała się większość cieków odwadniających Pojezierze Pomorskie (Łupawa, Słupia, Wda, Brda, Wieprza, Drawa, Gwda, Parsęta). Relatywnie niskim IS_{sr} charakteryzował się również Wieprz. Należy nadmienić, iż w przypadku wymienionych rzek swoiste wyrównanie rocznego hydrogramu przepływu może być związane ze znacznym udziałem zasilania podziemnego oraz bardzo dużą retencyjnością ich zlewni (Jokiel 1994; Wrzeński 2017a). Wydaje się również, że w odniesieniu do zlewni pojeziernych wpływ na zmniejszenie sezonowości odpływu ma występowanie jezior przepływowych. Maksymalny IS_{sr} w badanej grupie, świadczący o najbardziej wyrównanym przepływie w skali roku, uzyskano natomiast dla Przemszy. Warto przypomnieć, iż ta antropogenicznie zmieniona rzeka charakteryzowała się również najniższym GMO_{sr} (por. rozdz. 5.3.1.).

Relatywnie dużą sezonowością przepływu wyróżniała się natomiast większość rzek karpackich (Soła, Raba, Poprad, Wisłoka, Wisłok, Biała). Rzeki te posiadają niwalno-pluwialny bądź pluwialno-niwalny reżim odpływu, który cechuje się względnie stabilnym lub stabilnym terminem okresu występowania wezbrań i niżówek oraz stosunkowo niewielkim udziałem podziemnego zasilania (poniżej 40%) (Wrzeński 2013, 2017a). Są to cechy, które generują dużą sezonowość odpływu rzeczno. Względnie dużą sezonowością odznaczały się również: Prosna, Liwiec, Narew oraz Wełna. Dla tej ostatniej rzeki uzyskano najwyższy IS_{sr} w analizowanym zbiorze. Należy zauważyć, że wymienione rzeki charakteryzują się takim samym reżimem odpływu – niwalnym silnie wykształconym. W rocznym cyklu przepływu tych rzek zarysowują się bardzo wyraźne okresy wzmożonego zasilania pochodzenia roztopowego, a także stabilne terminy występowania letnio-jesiennych niżówek, czego skutkiem jest duża sezonowość.

Wskaźniki pory koncentracji odpływu (WPK) w badanym zbiorze zlewni były bardzo zróżnicowane. Ich wartości średnie (WPK_{sr}) zawierały się w przedziale prawie czterech miesięcy kalendarzowych (111 dni) (rys. 45; zał. 8). Najwcześniejsze, przeciętne terminy koncentracji odpływu w skali wielolecia wystąpiły w Łupawie i w Redzie (102 dzień roku hydrologicznego; 10 lutego). Najpóźniejszy zidentyfikowano zaś w przypadku Dunajca (213 dzień roku hydrologicznego; 1 czerwca). Amplituda skrajnych wartości WPK_{sr} jest w badanym zbiorze rzek znacznie szersza niż w przypadku terminów koncentracji odpływu określonych dla zlewni karpackich (60 dni; Jokiel, Tomalski 2017) i przekrojów wodowskazowych wzdłuż biegu Wisły (31 dni; Jokiel, Tomalski 2018). Jest ona również większa od określonej dla odpływu całkowitego rzek w środkowej Polsce (Bartnik, Jokiel 2001). Warto nadmienić,

że wskaźniki pory koncentracji innych charakterystyk hydrologicznych mogą zmieniać się w jeszcze większym zakresie. Na przykład, dla terminu pory koncentracji suszy hydrologicznej w Polsce granicami są: 18 lipiec i 27 grudzień (Tomaszewski 2017). Mniejszą amplitudę stwierdzono natomiast w odniesieniu do wskaźnika pory koncentracji odpływu podziemnego w środkowej Polsce, gdzie skrajne wartości przypadają na: 17 stycznia i 11 marca (Tomaszewski 2007).



Rys. 45. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

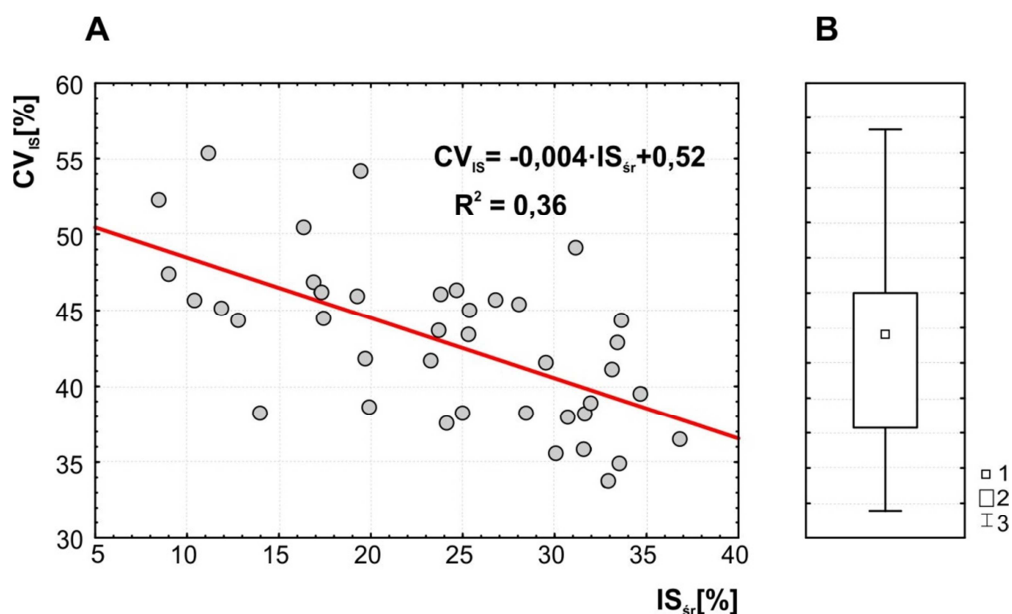
Objaśnienia: A: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających; B: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa; średni wieloletni wskaźnik pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) (od 1 listopada): 3 – wczesny (126 dzień i wcześniejsze), 4 – przeciętny (127–162 dzień), 5 – późny (163 dzień i późniejsze).

Wartość środkowa WPK_{sr} w badanym zbiorze przypada na koniec trzeciej dekady marca (149 dzień roku hydrologicznego; 29 marca). Połowa przeciętnych wskaźników pory koncentracji odpływu występuje w marcu i pierwszej połowie kwietnia. Mieści się zatem we względnie wąskim przedziale między 126 a 163 dniem roku hydrologicznego (odpowiednio: od 6 marca do 12 kwietnia). Rozkład WPK_{sr} w badanej grupie zlewni charakteryzuje niewielka skośność prawostronna.

W rozmieszczeniu zlewni o wczesnym WPK_{sr} można zaobserwować wyraźny porządek przestrzenny. W skali wieloletniej, najwcześniejszy termin pory koncentracji odpływu

wystąpił w niemal wszystkich zlewniach odwadniających Pojezierze Pomorskie (z wyłączeniem Gwdy). Odpływ koncentrował się w nich przeciętnie w pierwszej dekadzie marca (6 marca) lub nieco wcześniej. Warto zauważyć, że większość tych rzek charakteryzuje się jednocześnie niskimi IS_{sr} . Relatywnie wczesny WPK_{sr} uzyskano również dla Proсны, którą to rzekę cechuje również duża sezonowość przepływu.

Interesujące wnioski płyną z analizy późnych WPK_{sr} w badanej grupie. Okazuje się bowiem, że najpóźniejszy wskaźnik pory koncentracji odpływu uzyskano dla zlewni górskich, zarówno sudeckich (Nysa Kłodzka, Bystrzyca), jak i wszystkich karpackich. Przeciętnie w skali wielolecia przepływ tych rzek koncentrował się 13 kwietnia lub później. Rzeki górskie posiadają niwalno-pluwalny lub pluwalno-niwalny reżim odpływu, przez co okres największych wezbrań może wystąpić zarówno w miesiącach wiosennych (III–IV), jak i letnich (VI–VII) (Wrzesiński 2017a). Stosunkowo wczesna pora koncentracji odpływu w tych rzekach (dwie ostatnie dekady kwietnia) wskazuje, że podstawową rolę w kształtowaniu przepływu i zasobów wodnych tych rzek pełnią roztopy, natomiast wpływ opadów letnich jest drugorzędny.



Rys. 46. Korelacja między współczynnikiem zmienności indeksu sezonowości odpływu (CV_{IS}) i średnim wieloletnim indeksem sezonowości odpływu (IS_{sr}) (A) oraz zróżnicowanie współczynnika zmienności IS (B) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

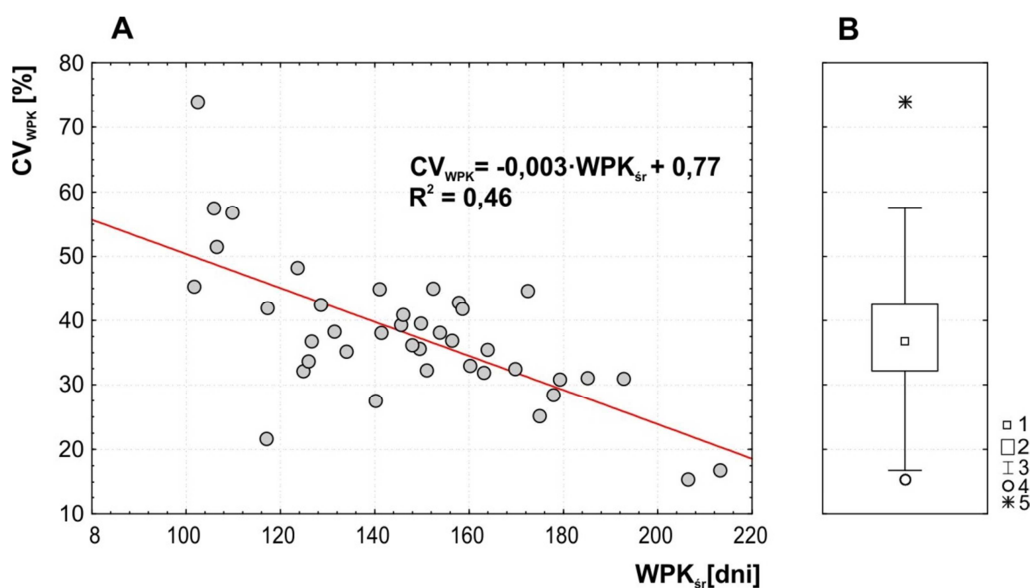
Objaśnienia: A: podano funkcję regresji oraz współczynnik determinacji R^2 ; B: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających.

Źródło: Jokiel P., Stanisławczyk B., 2016; zmienione.

Współczynniki zmienności wieloletniej (CV_{IS}) świadczą o przeciętnym lub dużym poziomie dyspersji indeksu sezonowości przepływu badanych rzek (zał. 8; rys. 46B). Ekstre-

malne CV_{IS} wyznaczają relatywnie wąski rozstęp współczynników zmienności indeksów sezonowości: od 33,6% (Wisłoka) do 55,3% (Wda). Połowa obliczonych CV_{IS} jest mniejsza od 43,5%, natomiast co czwarta rzeka odznacza się zmiennością indeksów sezonowości większą niż 46,0%. Rozkład CV_{IS} cechuje niewielka skośność dodatnia. Istotne statystycznie równanie regresji dowodzi, że rzeki o wysokim indeksie sezonowości cechują się równocześnie małą jego zmiennością w skali wielolecia i odwrotnie (rys. 46A).

Znacznie bardziej zróżnicowane były współczynniki zmienności wskaźnika pory koncentracji odpływu CV_{WPK} badanych zlewni (zał. 8; rys. 47B). Zanotowane CV_{WPK} zawierały się w szerokim przedziale od niespełna 15,4% (Poprad) do 74,0% (Rega). Wartość środkowa CV_{WPK} wskazuje, że połowa badanych rzek cechowała się zmiennością tego wskaźnika poniżej 36,8%. Przedział połowy liczebności CV_{WPK} był przy tym relatywnie wąski: od 32,3% do 42,4%. Rozkład CV_{WPK} wyróżnia się jednak dużą dodatnią skośnością, na co decydujący wpływ wywiera wartość odstająca uzyskana dla Regi.

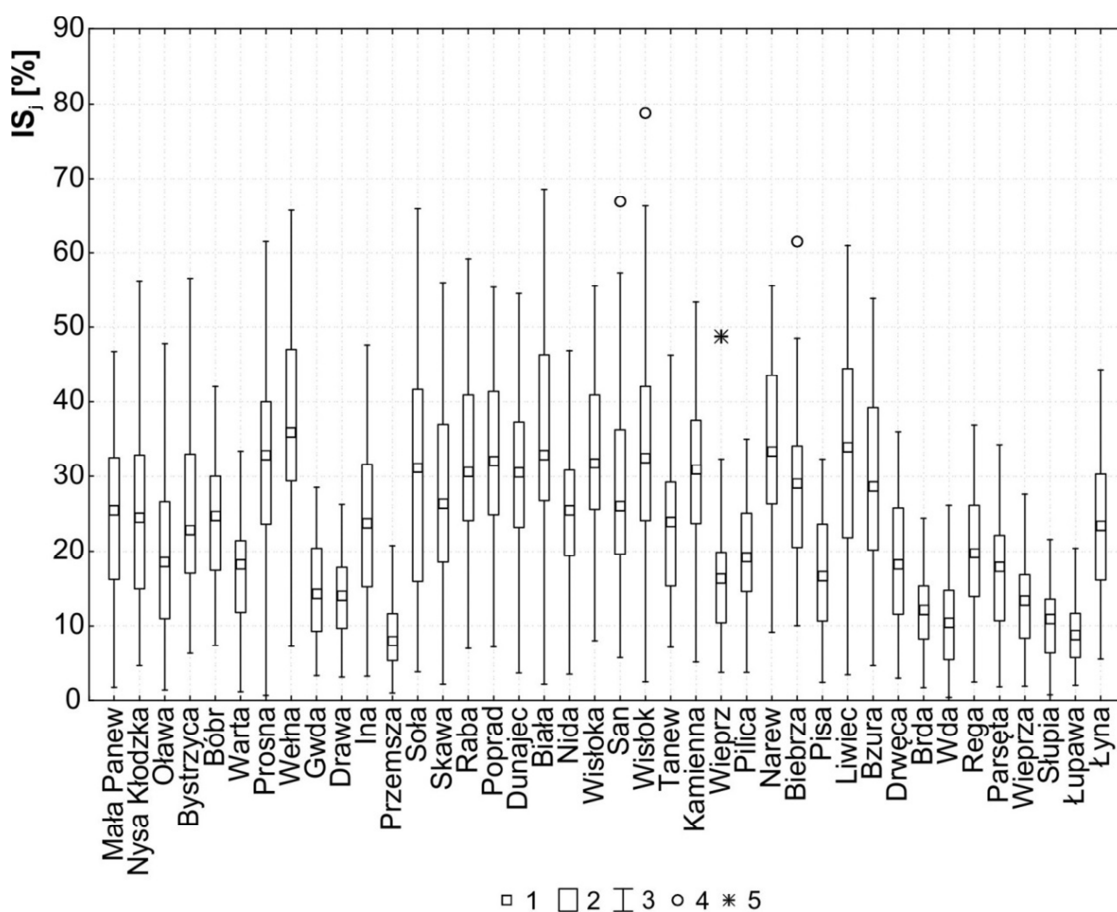


Rys. 47. Korelacja między współczynnikiem zmienności wskaźnika pory koncentracji odpływu (CV_{WPK}) i średnim wieloletnim wskaźnikiem pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) (A) oraz zróżnicowanie współczynnika zmienności WPK w badanej grupie zlewni w wielolecie 1951–2010 (B).

Objaśnienia: A: podano funkcję regresji oraz współczynnik determinacji R^2 ; B: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości skrajne.

Warto zauważyć, że zarówno w odniesieniu do średniego wieloletniego indeksu sezonowości, jak i wskaźnika pory koncentracji odpływu uzyskano istotną statystycznie korelację (test t–Studenta dla $\alpha=0,05$) ze współczynnikami zmienności tych miar (rys. 46, 47). Wykryte zależności świadczą o istnieniu odwrotnie proporcjonalnej współzmienności między IS_{sr}

i CV_{IS} oraz WPK_{sr} i CV_{WPK} . Wraz ze wzrostem IS_{sr} i WPK_{sr} maleje zmienność wieloletnia obu miar. Oznacza to zatem, iż im większy średni indeks sezonowości lub późniejsza pora koncentracji odpływu, tym ich zmienność w wieloleciu jest mniejsza i odwrotnie. Można zatem postawić tezę, że rzeki o dużej sezonowości przepływu (wysoki indeks sezonowości) i cechujące się złożonym reżimem odpływu (późna pora koncentracji) charakteryzuje stosunkowo mała zmienność tych cech w wieloleciu (niskie CV_{IS} i CV_{WPK}). Natomiast rzeki o względnie stabilnym w czasie przepływie i dobrze wykształconym reżimie śnieżnym charakteryzują się dużą zmiennością wieloletnią obu estymatorów sezonowości.



Rys. 48. Zróżnicowanie rocznych indeksów sezonowości odpływu (IS_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne.

Źródło: Jokiel P., Stanisławczyk B., 2016.

Sezonowość mierzona indeksem sezonowości (IS) jest bardzo zmiennym w czasie i zróżnicowanym w przestrzeni elementem reżimu rzecznoego, o czym mogą świadczyć skrajne indeksy sezonowości przepływu uzyskane dla badanej próbki rzek w wieloleciu (rys. 48). W analizowanym horyzoncie czasowym część rzek badanego zbioru charakteryzowała się

bardzo wyrównanym przepływem. Dowodzą tego ekstremalnie niskie indeksy sezonowości uzyskane dla niektórych lat i rzek np.: Wdy, Proсны i Słupi (IS_j poniżej 1%). W skali wielolecia zdarzały się również lata, w których odpływ z niektórych zlewni cechował się skrajnie dużą sezonowością. Jako przykład można wymienić Wisłok, dla którego w 1964 roku zidentyfikowano najwyższy IS_j w badanym zbiorze wynoszący 78,7%.

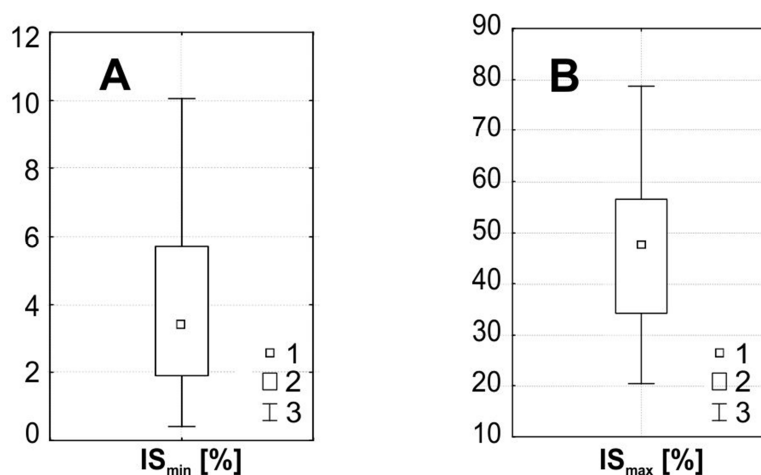
Po analizie wartości środkowych z wieloletnich szeregów indeksów sezonowości odpływu badanych zlewni można zauważyć, że połowa obliczonych IS zawiera się w przedziale między 8,0% a 35,9%. Warto też zwrócić uwagę na pewien porządek przestrzenny. Względnie niskimi medianami wyróżniały się głównie rzeki odwadniające Pojezierze Pomorskie (m. in. Łupawa, Wda, Słupia, Brda). W przypadku tych zlewni co drugi obliczony IS_j był niższy niż 15%. Jednocześnie, rzeki te odznaczały się nie tylko najbardziej wyrównanym odpływem w ciągu roku, ale również charakteryzowały się relatywnie wąskim przedziałem zmienności indeksów w wieloleciu – indeksy sezonowości odpływu rzek odwadniających Pojezierze Pomorskie bardzo rzadko przekraczały 30%. Jak już wspomniano, zmniejszenie dynamiki przepływu tych rzek w cyklu rocznym jest w znacznym stopniu związane z występowaniem chłonnych zagłębień bezodpływowych oraz jezior i obszarów podmokłych, które zwiększają zdolności retencyjne ich zlewni i wywołują wzrost stabilnego w czasie odpływu, np. podziemnego (Jokiel, Stanisławczyk 2016; Wrzeński 2017a).

Relatywnie niskie mediany w wieloletnich szeregach indeksów sezonowości przepływu uzyskano także dla części rzek wyżynnych, w tym: Przemszy, Wieprza, Warty i Pilicy (mediany IS poniżej 20%). W przypadku pierwszej z tych rzek wyrównanie rocznego odpływu związane jest z wpływem działalności człowieka na modyfikację warunków obiegu wody (Soja 2002; Wrzeński 2017a,b). Pozostałe wymienione rzeki odwadniają obszary o korzystnych warunkach infiltracji (Dynowska, Pociask–Karteczka 1999) i stabilnym w czasie zasilaniu wodami podziemnymi. Udział zasilania podziemnego wynosi w nich od 40% do 60%, a w przypadku Wieprza sięga nawet 80% (Jokiel 1994). Względnie wyrównany roczny przepływ rzek odwadniających obszary wyżynne wynika zwykle z dużych zdolności retencyjnych podłoża i faktu drenowania przez ich systemy zasobnych poziomów wodonośnych znajdujących się w skrasowiałych i uszczelnionych skałach węglanowych (Jokiel, Stanisławczyk 2016; Wrzeński 2017a).

Podobnie jak w przypadku IS_{sr} , stosunkowo wysokimi medianami uzyskanymi dla wieloletnich szeregów indeksów sezonowości przepływu charakteryzowały się ciekі karpackie (mediany IS powyżej 30%). W grupie rzek karpackich połowa obliczonych indeksów sezonowości zawierała się w przedziale od 16% do 46%. Względnie wysokimi medianami

IS odznaczały się również rzeki posiadające silnie wykształcony niwalny reżim hydrologiczny (Biebrza, Kamienna, Prosna, Narew, Liwiec, Wełna). Zauważmy także, iż rzeki charakteryzujące się dużą sezonowością przepływu cechuje jednocześnie relatywnie szeroka amplituda IS w skali wielolecia.

Najniższe indeksy sezonowości przepływu (IS_{min}) były relatywnie mało zróżnicowane w całym zbiorze zlewni (rys. 49A; zał. 8). Skrajnie wyrównany roczny przepływ wykazywała Wda ($IS_{min}=0,4\%$). Najwyższy IS_{min} zidentyfikowano natomiast w przypadku Biebrzy i osiągnął on 10,1%. Połowa obliczonych IS_{min} zawierała się w przedziale między 2,0% a 5,6%. Rozkład tej charakterystyki cechuje się wyraźną dodatnią skośnością. Ekstremalnie niskimi IS_{min} wyróżniają się niektóre ciekі przymorskie i pojezierne (wspomniana Wda oraz Słupia, Brda, Parsęta). Wyrównany przepływ w cyklu rocznym cechuje również część rzek z dorzecza Odry (np.: Prosna, Warta, Oława i Mała Panew).



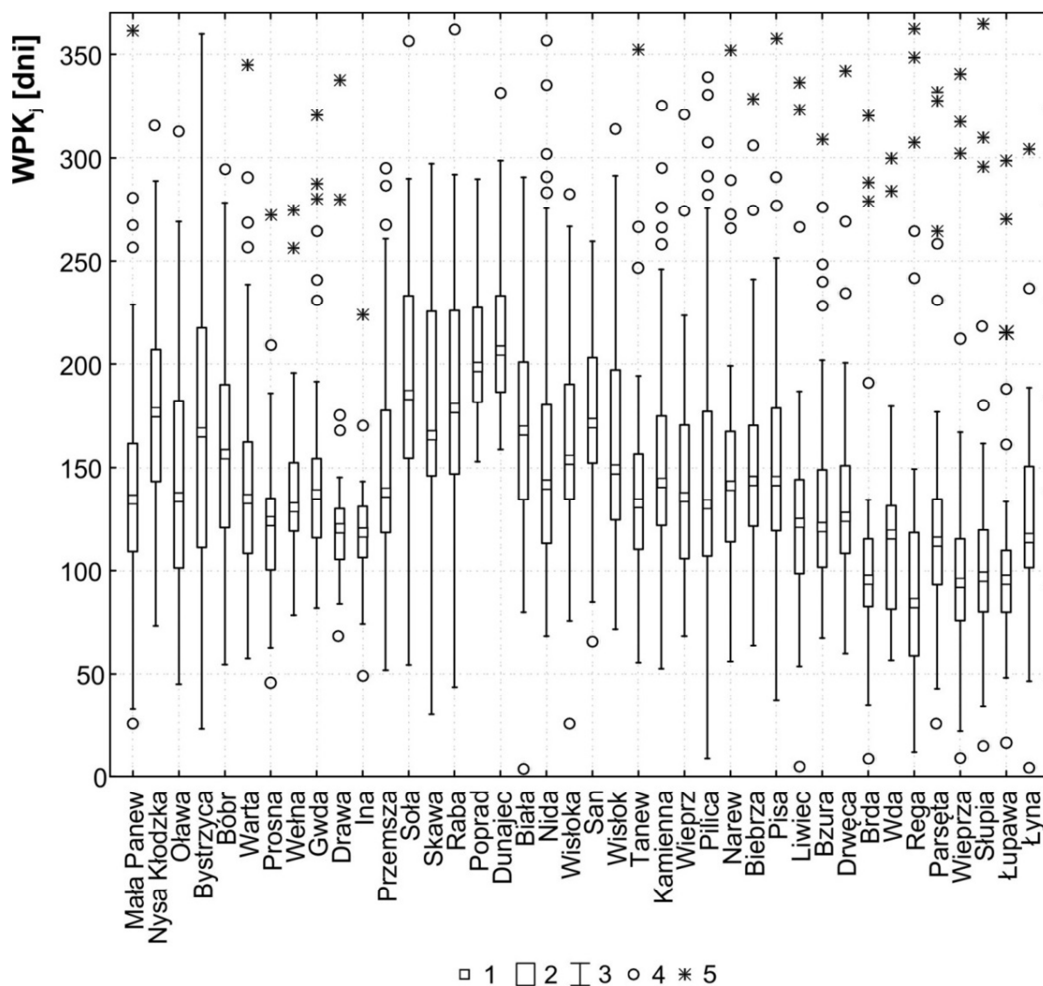
Rys. 49. Zróżnicowanie najniższych (IS_{min} ; A) i najwyższych (IS_{max} ; B) indeksów sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: A, B: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających.

Źródło: Jokiel P., Stanisławczyk B., 2016.

Najwyższe indeksy sezonowości odpływu w wieloleciu (IS_{max}) były natomiast bardzo zróżnicowane (rys. 49B; zał. 8). Najniższy zanotowany IS_{max} wyniósł 20,4% (Łupawa), a najwyższy – 78,7% (Wisłok). Rozstęp ekstremalnych IS_{max} w badanej grupie zlewni wynosi zatem niemal 60%. Co drugi maksymalny indeks sezonowości odpływu jest wyższy niż 47,7%. Rozkład IS_{max} jest zbliżony do normalnego. Lata o bardzo wysokiej sezonowości odpływu ($IS_{max}>60\%$) wystąpiły w niektórych rzekach karpaccich (San, Soła, Biała, Wisłok) oraz w kilku ciekach posiadających reżim niwalny silnie wykształcony (Liwiec, Prosna, Biebrza, Wełna).

Charakter sezonowej struktury odpływu rzeczny mierzony wskaźnikiem pory koncentracji (WPK_j) był jeszcze bardziej zmienny w czasie oraz zróżnicowany w przestrzeni niż IS_j (rys. 50). Dowodzą tego między innymi duże zróżnicowanie położenia rozstępu międzykwartylowego, a także zakresy wartości nieodstających WPK_j . Warto również zwrócić uwagę na dużą liczbę wartości odstających oraz ekstremalnych, które stwierdzono w więcej niż połowie rzek rozpatrywanego zbioru.



Rys. 50. Zróżnicowanie rocznych wskaźników pory koncentracji odpływu (WPK_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne.

Relatywnie niskie mediany WPK_j charakteryzują niemal wszystkie rzeki przymorskie (Rega, Wieprza, Łupawa, Słupia, Parsęta) oraz pojezierne (Brda, Łyna, Wda, Ina, Drawa). W przypadku tej grupy rzek, w co drugim roku wielolecia, termin koncentracji odpływu wystąpił w półroczu chłodnym (1 marca bądź wcześniej). Względnie wczesny termin koncentracji przepływu rzek przymorskich i pojeziernych wynika z faktu, iż wyróżniają się one niwal-

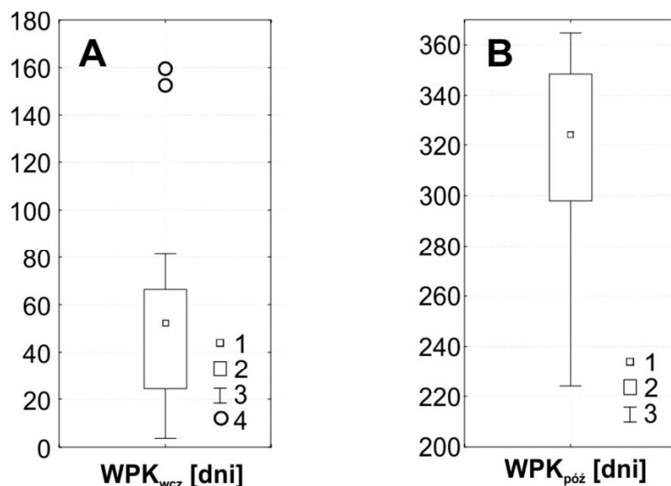
nym, słabo wykształconym reżimem odpływu. Stosunkowo wczesna pora występowania roztopów lub całkowity brak takiej pory skutkuje w północnej części Polski tym, że w większości rzek odwadniających obszar Przymorza oraz Pojezierzy Pomorskiego czy Mazurskiego faza formowania wezbrań przypada najczęściej w okresie zimowo-wiosennym (od grudnia do marca) (Wrzesiński 2017a). Warto zwrócić jednak uwagę na liczne, bardzo późne WPK_j , które charakteryzują tę grupę rzek. Zatem w wieloleciu pojawiły się również lata, w których termin koncentracji przepływu w rzekach pojeziernych wystąpił w półroczu ciepłym – od ostatniej dekady lipca nawet do końca października. Relatywnie wczesnej, przeciętnej porze koncentracji odpływu w wieloleciu może równocześnie towarzyszyć duży rozstęp wartości ekstremalnych WPK_j .

Zdecydowanie najwyższe mediany wskaźników pory koncentracji odpływu charakteryzują wszystkie zlewnie górskie. Połowa uzyskanych WPK_j wskazuje na pierwszą dekadę kwietnia lub później. Warto zauważyć, że spośród rzek górskich najpóźniejsze przeciętne terminy koncentracji odpływu uzyskano głównie dla cieków odwadniających Beskidy Zachodnie oraz Tatry (29 kwietnia i później). Podobne wnioski w odniesieniu do rzek karpacczych przedstawili wcześniej Jokiel i Tomalski (2017).

Relatywnie późny termin pory koncentracji odpływu zlewni górskich jest związany z występowaniem dwu okresów wezbrań: wiosennego (roztopowe; od marca do kwietnia) oraz wiosenno-letniego (opadowe, niekiedy opadowo-roztopowe; od kwietnia do lipca). Należy jednak podkreślić, że termin koncentracji przepływu może w rzekach górskich wystąpić w pojedynczych latach również w okresie jesiennym, zwykle w pierwszej dekadzie listopada lub w ostatnich dniach października (rys. 50).

Najwcześniejsze terminy pory koncentracji odpływu (WPK_{wcz}), zanotowane w badanym wieloleciu były również bardzo zróżnicowane (rys. 51A). Świadczy o tym relatywnie duża amplituda skrajnych WPK_{wcz} . Najwcześniejszy termin pory koncentracji odpływu występował między wspomnianym 4 listopada (4 dzień roku hydrologicznego) a 8 kwietnia (159 dzień roku hydrologicznego) – rozstęp czasowy jest zatem bardzo szeroki i obejmuje okres od jesieni do wczesnej wiosny. Przedział połowy liczebności WPK_{wcz} jest jednak dość wąski, gdyż co drugi z uzyskanych terminów mieścił się w przedziale od 25 listopada do 5 stycznia (odpowiednio 25 i 66 dzień roku hydrologicznego). Z uwagi na występowanie dwóch bardzo późnych WPK_{wcz} (wartości odstające), rozkład tej charakterystyki cechuje duża skośność dodatnia. Warto zauważyć, że najwcześniejsze WPK_{wcz} uzyskano dla rzek odwadniających różne regiony fizycznogeograficzne i cechujących się odmiennymi warunkami formowania się przepływu. Z tego względu w rozmieszczeniu przestrzennym rzek wyróżniają-

nych się bardzo wczesnymi WPK_{wcz} nie dostrzeżono żadnych prawidłowości regionalnych. W zbiorze tym zdecydowanie odrębne miejsce zajmują dwa najpóźniejsze WPK_{wcz} uzyskane dla rzek tatrzańskich (Dunajec, Poprad). Wpływ ekstremalnie późnych roztopów i dużych wezbrań letnich typowych dla rzek tatrzańskich jest tu doskonale widoczny.



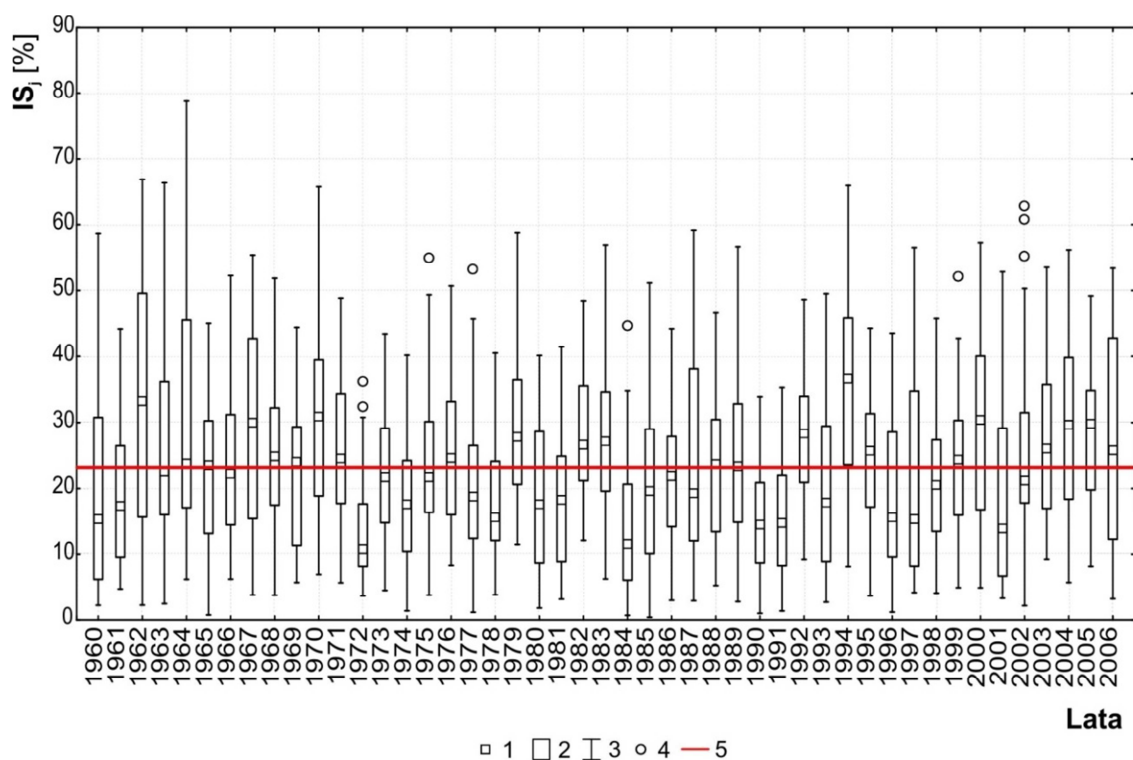
Rys. 51. Zróżnicowanie najwcześniejszych (WPK_{wcz} ; A) i najpóźniejszych ($WPK_{póz}$; B) wskaźników pory koncentracji odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010. Objasnienia: A, B: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające.

Najpóźniejsze terminy pory koncentracji odpływu uzyskane dla wielolecia ($WPK_{póz}$) były także bardzo zróżnicowane (rys. 51B). Najwcześniejszy $WPK_{póz}$ wystąpił 12 czerwca, najpóźniejszy natomiast 31 października (odpowiednio: 224 i 365 dzień roku hydrologicznego). Najpóźniejsze terminy koncentracji przepływu badanych rzek w skali wielolecia występowały w okresie letnim i wczesno jesiennym. Co drugi $WPK_{póz}$ zanotowano jednak dopiero 20 września (324 dzień roku hydrologicznego), a nawet nieco później. Położenie mediany względem zakresu wartości nieodstających i rozstępu międzykwartyłowego wskazuje, że rozkład $WPK_{póz}$ cechuje wyraźna skośność ujemna. W przestrzennym rozmieszczeniu skrajnych $WPK_{póz}$ nie zaobserwowano prawidłowości regionalnych.

5.4.2. Zmiany i fluktuacje w wieloleciu.

Indeksy sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni były w latach 1960–2006 dość zróżnicowane (rys. 52). Wartości środkowe IS_j (mediany) uzyskane dla poszczególnych lat i całego zbioru rzek zawierają się w przedziale od niespełna 10,6% do 36,7%. Cały zbiór analizowanych zlewni najbardziej wyrównanym odpływem cechował się w 1972 roku, a naj-

większą sezonowością w 1994 roku. Warto przy tym zauważyć, że wahania indeksu sezonowości przepływu w badanym wieloleciu miały charakter losowy. Przeprowadzony test Manna–Kendalla (dla $\alpha=0,05$) potwierdził brak statystycznie istotnego trendu w szeregu median IS_j w ciągu wielolecia. Ewentualne fluktuacje sezonowości przepływu w skali całego zbioru rzek będą dobrze widoczne, jeżeli rozpatrzmy położenie wartości środkowych IS_j względem linii wyznaczającej średni wieloletni indeks sezonowości odpływu dla wszystkich zlewni. Mediany te oscylują wokół wartości średniej w następujących po sobie latach i nie widać dłuższych, przynajmniej kilkuletnich, okresów charakteryzujących się wyraźnym wzrostem bądź spadkiem poziomu sezonowości przepływu w całej grupie rzek.



Rys. 52. Wieloletnie zmiany indeksów sezonowości odpływu (IS_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – średni wieloletni indeks sezonowości odpływu (23,5%), obliczony jako średnia z $IS_{j,r}$ dla wszystkich badanych rzek.

Źródło: Jokiel P., Stanisławczyk B., 2016; zmienione.

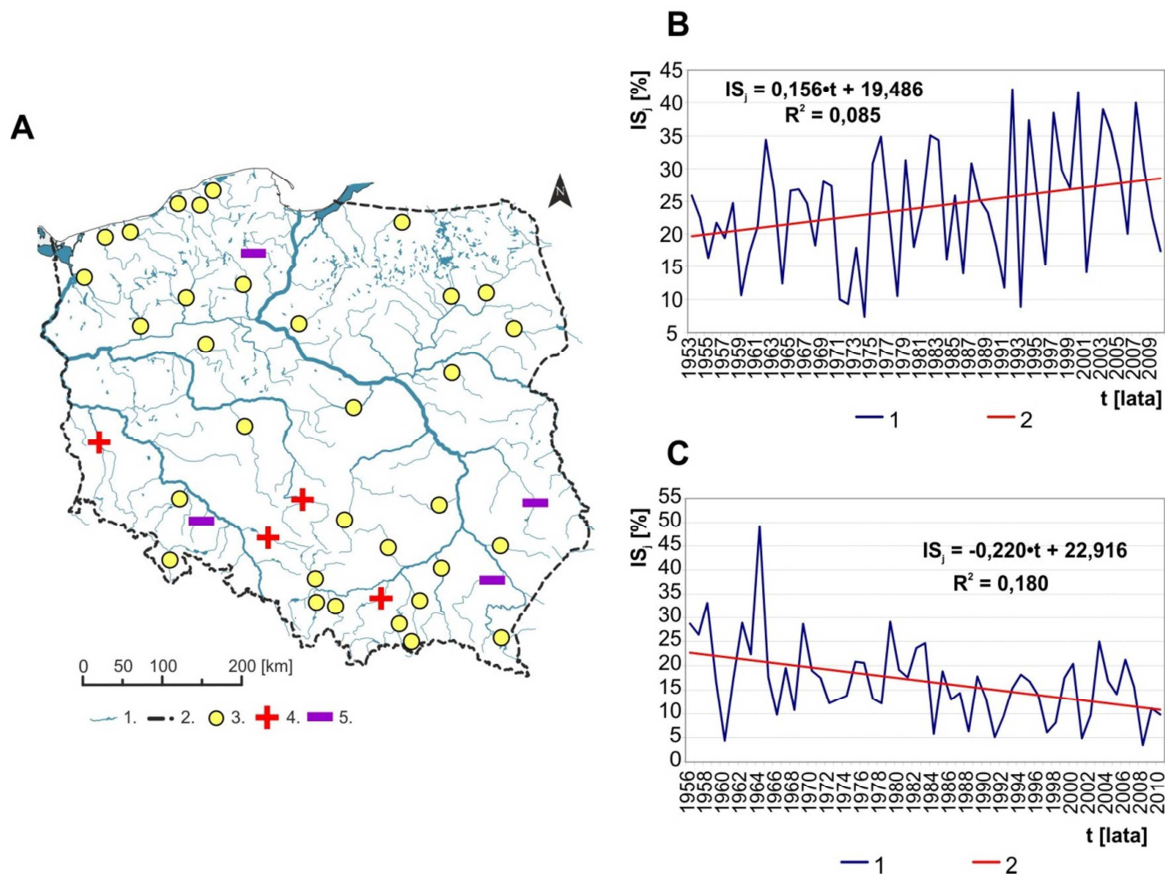
Najbardziej zróżnicowaną sezonowość odpływu zaobserwowano w pierwszej połowie lat 60. XX wieku. Rozpiętość przedziału wyznaczonego przez skrajne wartości IS w 1964 roku była największa w wieloleciu i wynosiła 72,5%. Znaczne zróżnicowanie stopnia sezonowości przepływu w grupie badanych rzek zanotowano również w latach: 2002, 1970, 1994, 1987 – amplituda między ekstremalnymi IS była wówczas większa niż 56%. Najmniej zróżnicowana sezonowość odpływu w całej grupie wystąpiła natomiast w 1972 ro-

ku. Rozstęp pomiędzy najniższym i najwyższym IS wyniósł wówczas 32,5%. Relatywnie mała amplituda skrajnych IS (poniżej 40%) charakteryzowała również lata: 1973–1978, 1980–1982 oraz 1990–1992. Traktując badaną grupę rzek za próbkę reprezentatywną całego obszaru Polski, można wskazać, że wymienione okresy i lata cechowały się w kraju największą i najmniejszą sezonowością przepływu.

Bardzo interesująca wydaje się też analiza lat, w których zanotowano maksymalne indeksy sezonowości odpływu (rys. 52; por. zał. 8). Największą sezonowością przepływu w skali całego zbioru rzek cechowały się dekady lat 60. oraz 90. ubiegłego wieku. Maksymalne indeksy wystąpiły wówczas odpowiednio: w 12 i 8 rzekach. Widoczne są przy tym pewne prawidłowości przestrzenne. Odpływ z większości zlewni karpackich odznaczał się największą sezonowością na początku lat 60. Dla przykładu; w 1962 roku IS_{max} uzyskano dla: Skawy, Popradu i Sanu, natomiast w 1964 roku ekstremalnie duża sezonowość przepływu charakteryzowała: Białą, Wisłokę i Wisłok. W tym samym roku IS_{max} otrzymano również dla: Nidy, Wieprza oraz Narwi. W 1994 roku, sześć rzek badanego zbioru cechowało się maksymalną sezonowością przepływu w wieloleciu i za wyjątkiem Soły, były to rzeki przymorskie i pojezierne (Gwda, Drawa, Soła, Brda, Rega, Parsęta). Warto również zauważyć, że niejednokrotnie IS_{max} wystąpił w tym samym roku w przypadku rzek, które odwadniają te same lub sąsiadujące regiony fizycznogeograficzne. Jako przykłady mogą posłużyć IS_{max} uzyskane w 1953 roku dla Warty i Proсны, a w 1975 roku zidentyfikowane w: Wieprzy, Słupi i Łupawie.

W zbiorze minimalnych indeksów sezonowości odpływu (IS_{min}) nie dostrzeżono wyraźnych prawidłowości czasowych oraz przestrzennych. Indeksy te zmieniały się losowo w kolejnych latach i dekadach badanego okresu wieloletniego. Wyjątkiem była dekada lat 60., w której odnotowano zdecydowanie najmniej minimalnych indeksów (IS_{min}) w wieloleciu (tylko w trzech rzekach).

W odniesieniu do całej próbki rzek nie zidentyfikowano istotnej tendencji zmian przeciętnej sezonowości przepływu, jednak w odniesieniu do niektórych rzek dostrzeżono statystycznie istotne trendy w wieloletnich szeregach IS . Statystyka testowa Manna–Kendalla (dla $\alpha=0,05$) potwierdziła istotność takich trendów w seriach IS uzyskanych dla ośmiu rzek (rys. 53). W przypadku połowy z nich zidentyfikowane tendencje świadczą o systematycznym wzroście sezonowości przepływu rzecznoego w wieloleciu (Mała Panew, Bóbr, Warta, Raba). Pozostałe trendy są malejące i wskazują na stopniowy spadek sezonowości odpływu: Oławy, Wisłoka, Wieprza oraz Wdy.



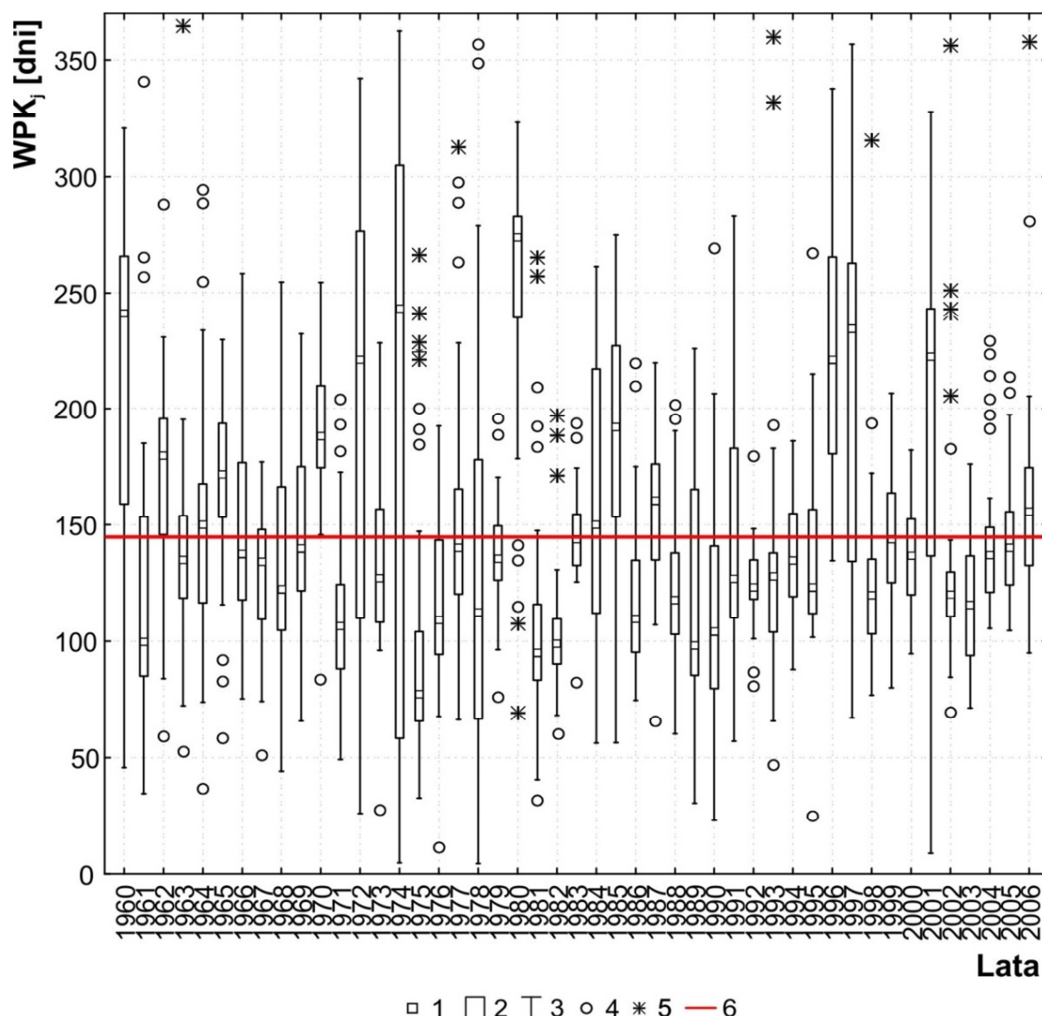
Rys. 53. Przestrzenne rozmieszczenie wieloletnich trendów indeksów sezonowości przepływu (IS) badanym zbiorze rzek Polski w wieloleciu 1951–2010 (A) oraz przykłady statystycznie istotnych trendów IS : B – trend rosnący (Bóbr), C – trend malejący (Wieprz).

Objaśnienia: A: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – trend nieistotny, 4 – istotny trend dodatni, 5 – istotny trend ujemny; B, C: 1 – IS_j [%]; 2 – linia wieloletniego trendu (na wykresie podano funkcję trendu oraz współczynnik determinacji R^2); statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

Wskaźniki pory koncentracji odpływu w analizowanym zbiorze zlewni były znacznie bardziej zróżnicowane niż indeksy sezonowości (rys. 54). Zdecydowanie najniższą medianę WPK_j zanotowano w 1975 roku. W co drugiej badanej rzece termin pory koncentracji przepływu wystąpił wówczas przed 16 stycznia (77 dzień roku hydrologicznego). Należy podkreślić, że wyłączając wartości odstające i ekstremalne w zbiorze, niemal we wszystkich rzekach, terminy pory koncentracji odpływu wystąpiły w tym roku znacznie wcześniej niż wynosi przeciętna dla wielolecia, czyli przed 28 marca. Podobna sytuacja miała również miejsce w latach: 1981, 1992 i 2002.

Najwyższą wartość środkową (medianę) WPK_j uzyskano dla 1980 roku, w którym to, w połowie analizowanych zlewni termin pory koncentracji odpływu wystąpił dopiero w okresie letnim, a dokładnie po 1 sierpnia (274 dzień roku hydrologicznego). Warto zauważyć, że poza wartościami ekstremalnymi i odstającymi, w roku tym wszystkie pozostałe rzeki cha-

rakteryzowały się dużo późniejszym WPK_j , niż średnia z wielolecia. Analogiczna sytuacja wystąpiła też w latach: 1970 i 1996.



Rys. 54. Wieloletnie zmiany wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylny, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne, 6 – średni wieloletni wskaźnik pory koncentracji odpływu (148 dni roku hydrologicznego; 28 marca), obliczony jako średnia z WPK_{sr} dla wszystkich badanych rzek.

Na podstawie analizy prezentowanego wykresu (rys. 54) należy stwierdzić, iż zmiany wskaźnika pory koncentracji odpływu w odniesieniu do całego zbioru zlewni miały w wieloleciu charakter losowy. Wyniki testu Manna–Kendalla potwierdziły brak statystycznie istotnej tendencji w wieloletnim szeregu median WPK_j (na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Warto przy tym nadmienić, że w większości lat rozpatrywanego okresu wartości środkowe WPK_j były niższe od przeciętnego wskaźnika pory koncentracji odpływu. Zatem w tych latach, w ponad połowie zlewni analizowanego zbioru, termin koncentracji odpływu wystąpił w okresie jesienno-zimowym lub wczesną wiosną. Dodać też należy, że lata, w których

co druga badana rzeka odznaczała się WPK_j późniejszym od mediany były dość równomiernie rozłożone w wieloleciu.

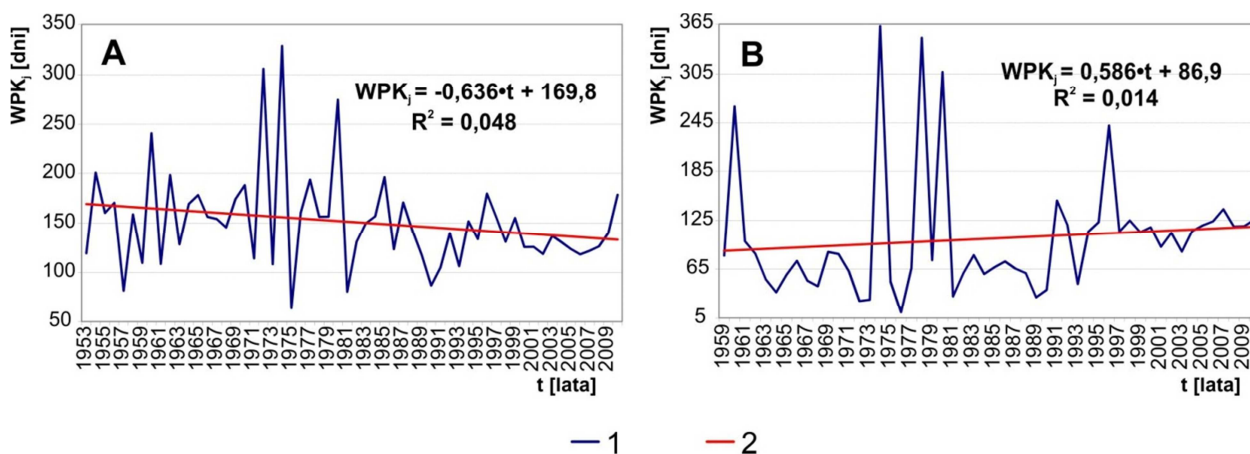
Największe zróżnicowanie WPK_j zaobserwowano w 1978 roku i w 1974 roku. Amplitudy między skrajnymi terminami pory koncentracji odpływu wyniosły w tych latach odpowiednio: 352 oraz 358 dni. Relatywnie duże zróżnicowanie WPK_j zanotowano również w latach: 1963, 1993, 1972 oraz 2001, w których różnica pomiędzy ekstremami terminu pory koncentracji odpływu była większa niż 310 dni. Najmniejszym zróżnicowaniem WPK_j charakteryzował się natomiast 2000 rok – rozstęp między najwcześniejszym (3 luty) a najpóźniejszym (1 maja) terminem pory koncentracji odpływu w całej próbie zlewni wyniósł wówczas tylko 88 dni. Względnie małą amplitudę WPK_j zaobserwowano również w latach: 1994, 1992, w których odchylenia między ekstremalnymi terminami pory koncentracji nie przekraczały 100 dni. W co czwartym roku analizowanego wielolecia amplituda skrajnych WPK_j była mniejsza niż 143 dni. Natomiast w połowie lat tego okresu różnica między najwcześniejszym oraz najpóźniejszym terminem pory koncentracji odpływu przekraczała 205 dni.

Interesujące prawidłowości można dostrzec analizując lata i zlewnie charakteryzujące się najwcześniejszymi oraz najpóźniejszymi terminami pory koncentracji odpływu (rys. 54; por. zał. 8). Zdecydowanie najwięcej WPK_{wcz} odnotowano w latach 70. ubiegłego wieku (25 przypadków). Można tu również dostrzec wyraźną prawidłowość regionalną, bowiem większość rzek, dla których w tym samym roku zaobserwowano WPK_{wcz} odwadnia sąsiadujące z sobą regiony fizycznogeograficzne. Dla przykładu, w 1978 roku, najwcześniejszy termin pory koncentracji przepływu wystąpił w dziesięciu rzekach badanego zbioru. W roku tym, WPK_{wcz} zanotowano w przypadku: Małej Panwi i Warty oraz większości rzek przepływających przez obszar pojezierzy (Gwda, Drawa, Ina, Parsęta, Wieprza, Słupia, Łyna). Względnie dużą liczbę WPK_{wcz} zaobserwowano także w latach: 1975, 1974 (odpowiednio 7 i 6 rzek). W pierwszym ze wskazanych lat, najwcześniejszy termin pory koncentracji pojawił się między innymi w niektórych rzekach wyżynnych (Nida, Kamienna) oraz nizinnych (Narew, Biebrza). W 1974 roku wystąpił on natomiast w grupie rzek płynących w północnej i środkowej części kraju (Pisa, Liwiec, Drwęca, Wda, Łupawa).

Lata, w których zanotowano dużą liczbę najpóźniejszych terminów pory koncentracji odpływu były równomiernie rozłożone w wieloleciu. Najwięcej $WPK_{póz}$ wystąpiło w dekadzie lat 70. (14 przypadków) oraz 90. ubiegłego wieku (9 przypadków). W 1974 roku $WPK_{póz}$ odnotowano w przypadku ośmiu rzek. Najpóźniejszym terminem pory koncentracji w wieloleciu charakteryzowały się wówczas Mała Panew i Warta oraz niektóre rzeki odwadniające południową (Kamienna) i wschodnią część dorzecza Wisły (Tanew, Wieprz, Narew, Biebrza).

Relatywnie dużą liczbę $WPK_{póz}$ uzyskano także w 1996 roku (5 przypadków). Najpóźniejszym terminem pory koncentracji odpływu w wieloleciu odznaczały się w tym roku Drawa i Ina oraz niektóre rzeki karpackie (Skawa, Biała, San).

Warto zauważyć, że w badanym zbiorze można wyróżnić rzeki, które w tym samym roku charakteryzowały się zarówno najwcześniejszym, jak i najpóźniejszym terminem pory koncentracji w wieloleciu. Najczęściej ich zlewnie położone są w tych samych regionach fizycznogeograficznych kraju. Jako przykłady mogą posłużyć m. in. Soła i Raba (WPK_{wcz} w 2008 roku, $WPK_{póz}$ w 2007 roku), Drawa i Ina (WPK_{wcz} w 1978 roku, $WPK_{póz}$ w 1996 roku) oraz Narew i Biebrza (WPK_{wcz} w 1975 roku, $WPK_{póz}$ w 1974 roku). Zatem, wskaźnik pory koncentracji dobrze oddaje nie tylko lokalne podobieństwa w odniesieniu do fizycznogeograficznych warunków obiegu wody, ale również odzwierciedla regionalne podobieństwa sezonowości zasilania i stanu retencji w poszczególnych latach.



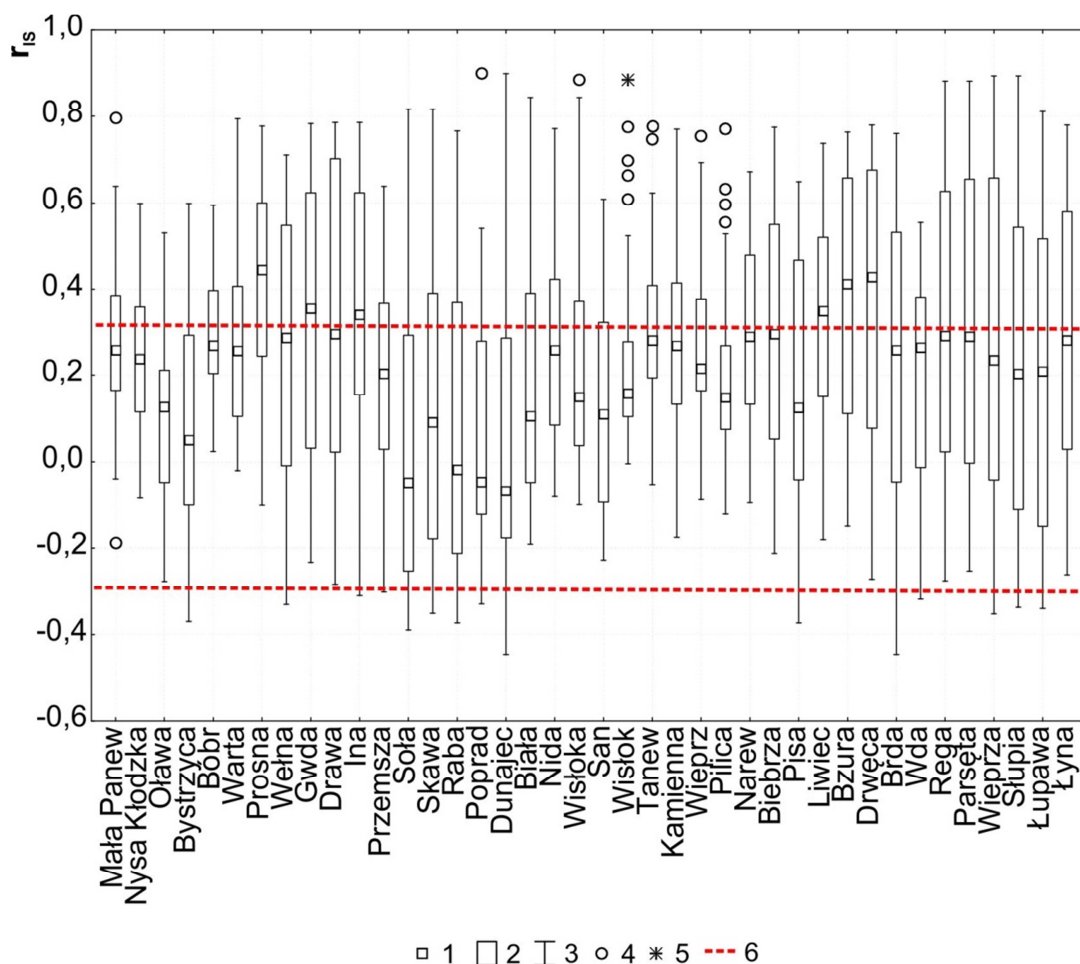
Rys. 55. Przykłady statystycznie istotnych trendów wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK): A – trend malejący (Biebrza); B – trend rosnący (Rega).

Objaśnienia: 1 – WPK_j [dzień], 2 – linia wieloletniego trendu (na wykresie podano funkcję trendu oraz współczynnik determinacji: R^2); statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

Na uwagę zasługuje również fakt, że w wieloletnich szeregach wskaźników pory koncentracji przepływu czterech rzek badanego zbioru zidentyfikowano statystycznie istotne trendy (rys. 55). W przypadku Biebrzy wykryta tendencja świadczy o coraz wcześniejszym występowaniu terminu pory koncentracji przepływu w skali wielolecia. Natomiast w trzech rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie (Wda, Rega, Słupia) wykryto statystycznie istotne trendy rosnące. Oznacza to, że charakteryzują się one coraz późniejszym pojawianiem się terminu pory koncentracji przepływu w wieloleciu. We wszystkich tych przypadkach zaobserwowano też bardzo dużą zmienność WPK w dekadzie lat 70. XX wieku.

5.4.3. Korelacje przestrzenne.

Na wstępie analizy korelacyjnych związków przestrzennych w macierzy indeksów sezonowości odpływu (IS_j) warto dostrzec, że niemal 75% wszystkich obliczonych współczynników korelacji liniowej Pearsona było dodatnich (rys. 56; zał. 9). Należy jednak podkreślić, że tylko niespełna 44% z nich było statystycznie istotnych (test t–Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Ogromna większość istotnych współczynników, bo aż 635, było dodatnich. Równocześnie, uzyskano też 40 istotnych, ale ujemnych współczynników korelacji IS , które dotyczyły piętnastu rzek z badanego zbioru. Ujemne współczynniki korelacji wskazują na asynchroniczność zmian indeksów sezonowości przepływu tych rzek z indeksami niektórych rzek badanego zbioru.



Rys. 56. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r_{IS}) indeksów sezonowości przepływu poszczególnych rzek z indeksami sezonowości przepływu pozostałych rzek w badanym zbiorze.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartyłowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – wartości ekstremalne, 6 – linie wyznaczające poziom statystycznej istotności r_{IS} (test t–Studenta; $\alpha=0,05$)

Źródło: Jokiel P., Stanisławczyk B., 2016; zmienione.

Wartości środkowe (mediany) zbiorów współczynników korelacji *IS* poszczególnych rzek były bardzo zróżnicowane. Statystycznie istotne mediany współczynników korelacji uzyskano jednak tylko w przypadku sześciu rzek, w tym: Proсны, Gwdy, Iny, Liwca, Bzury oraz Drwęcy (rys. 56). W przypadku Proсны uzyskano najwyższą medianę z obliczonych dla poszczególnych macierzy współczynników korelacji. Na tej podstawie można zatem stwierdzić, że wieloletnia zmienność sezonowości przepływu Proсны jest najbardziej „podobna” do zmian sezonowości zachodzących w większości rzek badanej grupy.

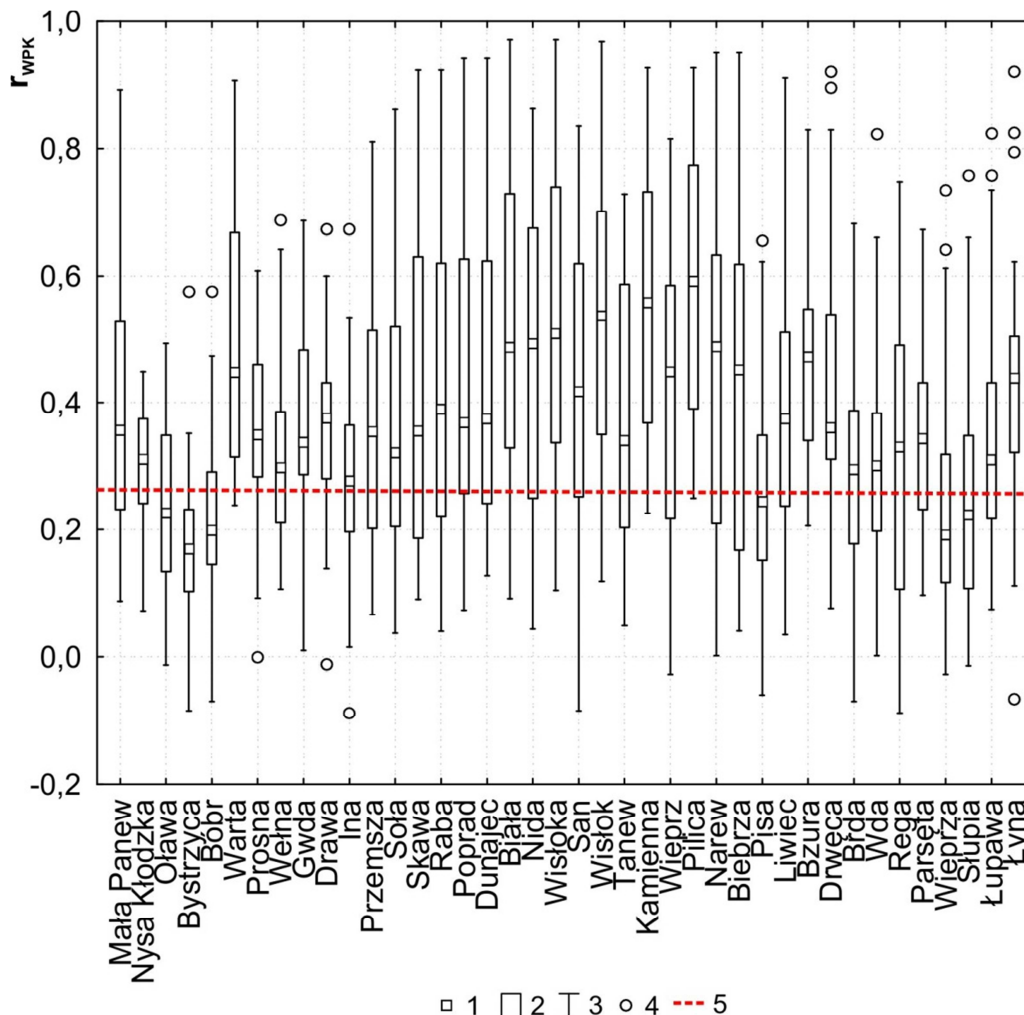
Podobnie jak w przypadku współczynników korelacji terminów połowy odpływu *TPO* (por. rozdz. 5.2.3.) oraz wskaźników koncentracji odpływu *GMO* (por. rozdz. 5.3.3.), relatywnie wysoką i istotną siłą współzmienności indeksów sezonowości przepływu charakteryzowały się rzeki odwadniające te same lub sąsiadujące regiony fizycznogeograficzne Polski (zał. 9). Najwyższe dodatnie współczynniki korelacji *IS* uzyskano na przykład dla par wielu cieków karpaccich, między innymi: Dunajca i Popradu ($r=0,902$), Wisłoki i Wisłoka ($r=0,886$), Białej i Wisłoka ($r=0,848$) oraz Skawy i Soły ($r=0,825$). Bardzo silną, dodatnią korelacją indeksów sezonowości odznaczały się również pary rzek przymorskich, w tym: Słupia i Wieprza ($r=0,894$) oraz Parsęta i Rega ($r=0,880$).

Statystycznie istotne, ale ujemne współczynniki korelacji indeksów sezonowości przepływu uzyskano między innymi dla: Brdy i Dunajca ($r=-0,429$) oraz Pisy i Raby ($r=-0,406$). Istotną asynchroniczność zmian sezonowości przepływu zaobserwowano głównie między rzekami karpaccimi a przymorskimi i pojeziernymi. Dla kilku rzek odwadniających Pojezierze Pomorskie uzyskano istotne, ujemne współczynniki korelacji *IS* z Sołą. Jednocześnie, współczynniki korelacji *IS* niektórych rzek karpaccich oraz Bystrzycy i Przemszy były ujemnie skorelowane ze zmianami sezonowości Brdy.

Analizując korelacyjne związki przestrzenne wskaźników pory koncentracji odpływu badanych zlewni należy zwrócić przede wszystkim uwagę na to, że wszystkie statystycznie istotne współczynniki korelacji (test–Studenta; $\alpha=0,05$) były dodatnie i stanowiły blisko 63% całego zbioru współczynników (rys. 57; zał. 9).

Wartości środkowe (mediany) współczynników korelacji *WPK* uzyskanych dla poszczególnych rzek mieściły się w relatywnie szerokim przedziale: od 0,169 do 0,592. Tylko w przypadku sześciu rzek (Oława, Bystrzyca, Bóbr, Pisa, Wieprza, Słupia) wyznaczone mediany współczynników korelacji r_{WPK} nie były statystycznie istotne. Najwyższą wartością środkową spośród tych współczynników odznaczała się Pilica. Można zatem stwierdzić, iż wieloletnie zmiany wskaźnika pory koncentracji odpływu tej rzeki w największym stopniu odzwierciedlały charakter zmian *WPK* we wszystkich innych rzekach badanej grupy. Rela-

tywnie wysokie i istotne mediany r_{WPK} uzyskano również dla niektórych rzek wyżynnych (Kamienna, Nida, Wieprz) i nizinnych (Biebrza, Narew, Bzura) oraz kilku cieków karpackich (Wisłok, Wisłoka, Biała).



Rys. 57. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r_{WPK}) wskaźników pory koncentracji odpływu poszczególnych zlewni ze wskaźnikami pory koncentracji odpływu pozostałych zlewni badanego zbioru.

Objaśnienia: 1 – mediana, 2 – rozstęp międzykwartylowy, 3 – zakres wartości nieodstających, 4 – wartości odstające, 5 – górna granica wyznaczająca poziom statystycznej istotności r_{WPK} (test t–Studenta; $\alpha=0,05$).

Wieloletnia zmienność wskaźników pory koncentracji odpływu była najbardziej podobna w rzekach odwadniających te same lub sąsiadujące regiony fizycznogeograficzne (zał. 9). Najlepiej współkorelowały z sobą terminy koncentracji przepływu rzek karpackich, w tym: Wisłoki i Białej ($r=0,971$), Wisłoki i Wisłoka ($r=0,968$) oraz Popradu i Dunajca ($r=0,942$). Wysokie, dodatnie i istotne współczynniki korelacji zanotowano również w kilku

Sezonowość przepływu i sezony hydrologiczne wybranych rzek Polski

parach rzek nizinnych (np. Biebrza i Narew; $r=0,951$) oraz wyżynnych (np. Pilica i Kamienna; $r=0,927$).

5.5. Najważniejsze cechy zmian i wieloletniej zmienności wybranych charakterystyk sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni.

Przeprowadzone wyżej analizy umożliwiają uchwycenie kilku ogólnych prawidłowości i powiązań dotyczących wieloletniej zmienności i zmian w wektorze omawianych charakterystyk sezonowości odpływu wybranych zlewni Polski. Dla każdego przekroju wodowskazowego podjęto próbę wykrycia statystycznie istotnych tendencji w wieloletnich szeregach: terminu połowy odpływu (*TPO*), wskaźnika koncentracji (*GMO*), a także indeksu sezonowości (*IS*) i wskaźnika pory koncentracji (*WPK*) (tab. 1). W oparciu o test Manna–Kendalla zidentyfikowano łącznie 28 statystycznie istotnych trendów w zbiorze 160 wykrytych. Jedenaście z nich wskazuje na wzrost wskaźników w wieloleciu. Pozostałe trendy są malejące. Jednocześnie warto zauważyć, że istotne tendencje zanotowano jedynie w 16 rzekach z 40 badanych.

Najwięcej statystycznie istotnych trendów odnotowano w szeregach *GMO* oraz *IS* – odpowiednio: dwanaście i osiem przypadków. W odniesieniu do *TPO* oraz *WPK* zidentyfikowano po cztery istotne tendencje. Już w oparciu o pobieżną analizę załączonej tabeli można zauważyć interesujące zależności. Rysuje się bowiem podobieństwo między szeregami *IS* oraz *GMO*. Jeżeli w danej rzece zidentyfikowano statystycznie istotne trendy w szeregach czasowych obu tych charakterystyk, to zawsze mają one ten sam kierunek. Oznacza to, że jeśli w badanej rzece zaobserwowano wieloletnią tendencję zmniejszania się sezonowości przepływu, to towarzyszył jej spadek wskaźnika koncentracji przepływu i odwrotnie. Trendy malejące zanotowano w ciągach *IS* oraz *GMO* dla: Oławy, Wisłoka, Wieprza i Wdy. Tendencje świadczące o stopniowym wzroście poziomu tych charakterystyk hydrologicznych wykryto natomiast w przypadku Małej Panwi oraz Raby.

Pomiędzy szeregami czasowymi *TPO* i *WPK* również można dostrzec analogiczną zależność do wskazanej wyżej. Na przykład Biebrza charakteryzuje się istotną tendencją do coraz wcześniejszego występowania zarówno terminu połowy, jak i wskaźnika pory koncentracji. Z kolei, statystycznie istotne trendy rosnące *TPO* i *WPK* zidentyfikowano dla Wdy.

Wspomniana Wda jest szczególnie interesującym przypadkiem w badanym zbiorze rzek. Jak można zaobserwować w przedstawionym zestawieniu, jest ona jedyną rzeką, w której zidentyfikowano statystycznie istotne tendencje wieloletnich zmian w szeregach czasowych wszystkich branych pod uwagę charakterystyk sezonowości odpływu, polegające

Tabela 1.

Statystyczna istotność (test Manna–Kendalla; $\alpha=0,05$) i kierunki trendów w wieloletnich szeregach czasowych wybranych miar sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni.

| Lp. | Wodowskaz | IS [%] | GMO | TPO [dzień] | WPK [dzień] |
|--|---------------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | + | + | X | X |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | X | X | X | X |
| 3 | Oława – Oława | – | – | X | X |
| 4 | Bystrzyca – Jarnaltów | X | X | X | X |
| 5 | Bóbr – Żagań | + | X | – | X |
| 6 | Warta – Działoszyn | + | X | X | X |
| 7 | Prosna – Bogusław | X | X | X | X |
| 8 | Wełna – Prusce | X | X | X | X |
| 9 | Gwda – Ptusza | X | X | X | X |
| 10 | Drawa – Drawiny | X | X | X | X |
| 11 | Ina – Goleniów | X | X | X | X |
| 12 | Przemsza – Jeleń | X | X | X | X |
| 13 | Soła – Oświęcim | X | X | – | X |
| 14 | Skawa – Wadowice | X | X | X | X |
| 15 | Raba – Proszówki | + | + | X | X |
| 16 | Poprad – Muszyna | X | X | X | X |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | X | X | X | X |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | X | X | X | X |
| 19 | Nida – Pińczów | X | X | X | X |
| 20 | Wisłoka – Mielec | X | – | X | X |
| 21 | San – Lesko | X | X | X | X |
| 22 | Wisłok – Tryńcza | – | – | X | X |
| 23 | Tanew – Harasiuki | X | – | X | X |
| 24 | Kamienna – Kunów | X | X | X | X |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | – | – | X | X |
| 26 | Pilica – Przedbórz | X | X | X | X |
| 27 | Narew – Suraz | X | – | X | X |
| 28 | Biebrza – Burzyn | X | X | – | – |
| 29 | Pisa – Ptaki | X | – | X | X |
| 30 | Liwiec – Łochów | X | – | X | X |
| 31 | Bzura – Sochaczew | X | X | X | X |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | X | X | X | X |
| 33 | Brda – Tuchola | X | X | X | X |
| 34 | Wda – Czarna Woda | – | – | + | + |
| 35 | Rega – Trzebiatów | X | X | X | + |
| 36 | Parsęta – Bardy | X | + | X | X |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | X | X | X | X |
| 38 | Słupia – Słupsk | X | X | X | + |
| 39 | Łupawa – Smołdzino | X | X | X | X |
| 40 | Łyna – Sępól | X | X | X | X |
| Suma istotnych rosnących trendów | | 4 | 3 | 1 | 3 |
| Suma istotnych malejących trendów | | 4 | 9 | 3 | 1 |
| Suma nieistotnych trendów | | 32 | 28 | 36 | 36 |

Objaśnienia: IS – indeks sezonowości odpływu [%]; GMO – wskaźnik koncentracji odpływu; TPO – termin połowy odpływu [dzień od 1.XI.]; WPK – wskaźnik pory koncentracji odpływu [dzień od 1.XI.]; (-) – statystycznie istotny trend malejący; (+) – statystycznie istotny trend rosnący; X – trend nieistotny; statystyczna istotność trendu oceniona testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

na systematycznym spadku sezonowości przepływu i przesuwania się terminów połowy i koncentracji przepływu w kierunku lata. Przyczyna występowania tutaj istotnych trendów nie jest dla autorki jasna, chociaż trudno zmian tych nie wiązać z oddziaływaniem kilku elektrowni wodnych na tej rzece i jej dopływach (np. Wdecki Młyn, Żur itd.). Kompleksowe oddziaływanie grup małych elektrowni wodnych na wieloletnie zmiany reżimu przepływu rzeki jest jednak nadal zagadnieniem otwartym i wymaga w ocenie autorki nieco innych, bardziej szczegółowych badań.

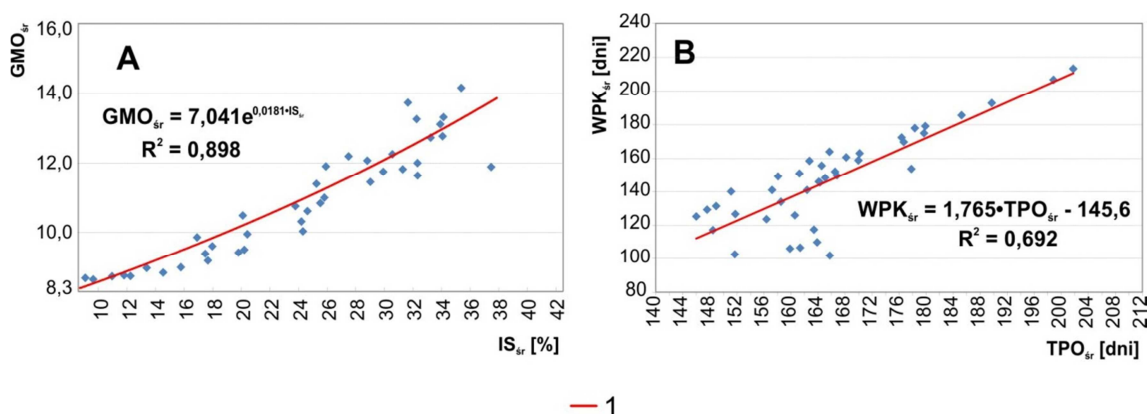
Tabela 2.

Współczynniki korelacji pomiędzy wybranymi miarami sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni Polski.

| Zmienna | IS_{sr} | GMO_{sr} | TPO_{sr} | WPK_{sr} |
|------------|-----------|------------|------------|------------|
| IS_{sr} | | 0,935** | 0,146* | 0,560 |
| GMO_{sr} | | | 0,308 | 0,637 |
| TPO_{sr} | | | | 0,832 |
| WPK_{sr} | | | | |

Objaśnienia: IS_{sr} – średni indeks sezonowości odpływu [%]; GMO_{sr} – średni wskaźnik koncentracji odpływu; TPO_{sr} – średni termin połowy odpływu [dzień od 1 listopada]; WPK_{sr} – średni wskaźnik pory koncentracji odpływu [dzień od 1 listopada]; * – najmniejszy obliczony współczynnik korelacji; ** – największy obliczony współczynnik korelacji.

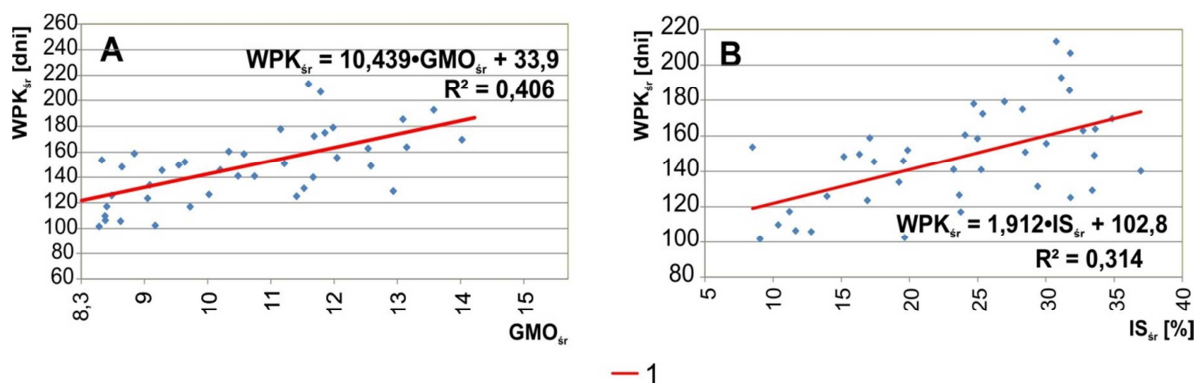
Czasowa zbieżność zmian IS i GMO oraz TPO i WPK została już wcześniej dostrzeżona w przypadku zlewni karpackich (Jokiel, Tomalski 2017) oraz posterunków wodowskazowych zlokalizowanych wzdłuż biegu Wisły (Jokiel, Tomalski 2018). W prezentowanym opracowaniu dokonano również oceny stopnia podobieństwa zmian wieloletnich wymienionych miar sezonowości odpływu w oparciu o współczynnik korelacji (tab. 2). Dodatkowo, dla wszystkich związków korelacyjnych i na podstawie wielkości współczynników determinacji (R^2), zidentyfikowano najlepiej dopasowane równania regresji. Najwyższy współczynnik korelacji, świadczący o bardzo silnym, niemal liniowym związku zanotowano między indeksem sezonowości Markhama (IS) i wskaźnikiem koncentracji odpływu Oliviera (GMO). W przypadku tego związku najlepsze dopasowanie uzyskano dla funkcji eksponencjalnej (tab. 2; rys. 58A). Należy przy tym zwrócić uwagę na bardzo wysoki współczynnik determinacji wyznaczonego równania regresji. W obrębie zbioru badanych rzek Polski, zmiany wskaźnika GMO_{sr} są w niemal 90% zbieżne ze zmianami IS_{sr} i odwrotnie. Warto też zauważyć, że bardzo mocno skorelowane są również TPO_{sr} i WPK_{sr} . Liniową funkcję regresji najlepiej aproksymującą ten związek cechuje także stosunkowo wysoki współczynnik determinacji (rys. 58B).



Rys. 58. Korelacja średniego wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_{sr}) i średniego indeksu sezonowości (IS_{sr}) (A) oraz średniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) i średniego terminu połowy odpływu (TPO_{sr}) badanych zlewni Polski.

Objaśnienia: 1 – funkcja regresji (na wykresie podano funkcję oraz współczynnik determinacji: R^2).

Istotne związki korelacyjne zidentyfikowano także między WPK i GMO oraz WPK i IS (tab.2). Chociaż siła tych związków mierzona współczynnikami korelacji wydaje się umiarkowanie silna, to jednak jakość dopasowania obu równań regresji, z uwagi na stosunkowo mały wskaźnik determinacji, jest relatywnie niska (R^2 poniżej 0,4) (rys. 59).



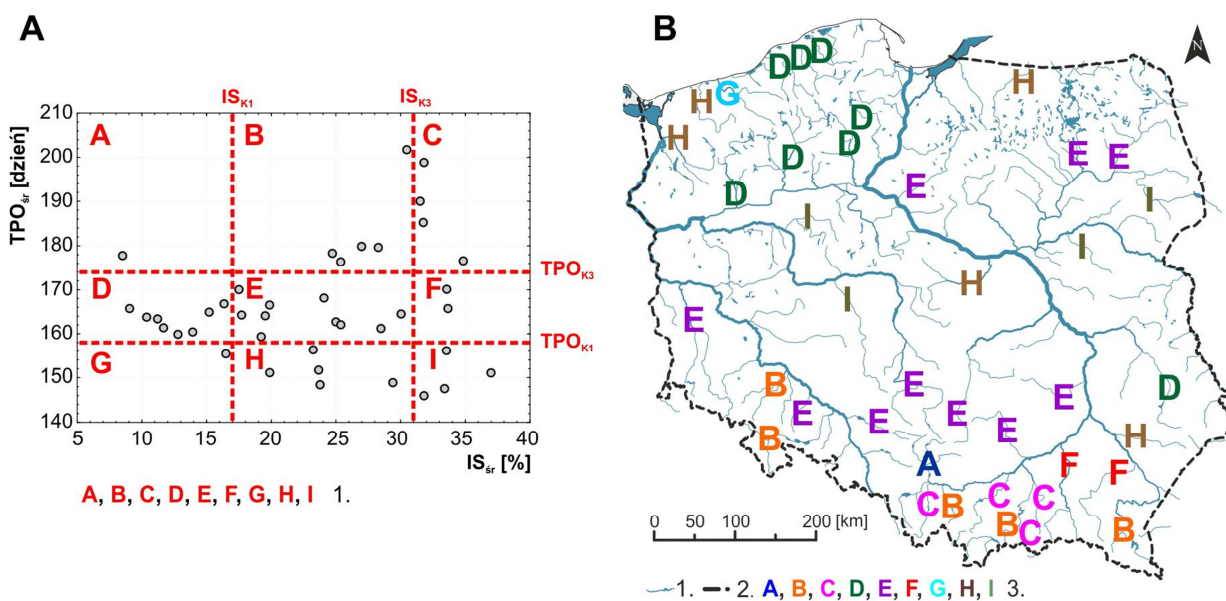
Rys. 59. Korelacja średniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) i średniego wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_{sr}) (A) oraz średniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) i średniego indeksu sezonowości odpływu (IS_{sr}) (B) badanych zlewni Polski.

Objaśnienia: 1 – funkcja regresji (na wykresie podano równanie oraz współczynnik determinacji: R^2).

Najniższy współczynnik korelacji odnotowano natomiast między IS_{sr} i TPO_{sr} badanych rzek. Tak niski współczynnik korelacji oraz wyjątkowo mały współczynnik determinacji wyznaczonej funkcji regresji ($R^2=0,021$) świadczy o braku istotnego związku pomiędzy tymi charakterystykami sezonowości. Relatywnie mały współczynnik korelacji oraz bardzo niski stopień dopasowania funkcji regresji ($R^2=0,095$) uzyskano również między GMO_{sr} i TPO_{sr} .

Wydaje się zatem, że wyniki przeprowadzonej analizy potwierdzają wnioski przedstawione wcześniej przez Jokiela i Tomalskiego (2017, 2018) świadczące o tym, że *IS* i *GMO* oraz *TPO* i *WPK* są markerami podobnych cech sezonowości przepływu rzek. Jednocześnie, obie te pary charakterystyk hydrologicznych różnią się między sobą tym, że zawierają odmienny zakres informacji dotyczący sezonowej struktury odpływu rzecznego.

Wyniki przeprowadzonych wyżej analiz zachęciły do podjęcia próby typologii badanych rzek Polski, obrazującej różnice w charakterze i poziomie ich sezonowej struktury przepływu. W celu wyodrębnienia oraz identyfikacji poszczególnych typów sezonowości przepływu rzecznego wykorzystano wykres ukazujący relacje między średnim terminem połowy odpływu i średnim indeksem sezonowości (rys. 60). Zmienne te wybrano nieprzypadkowo. Oznaczały się one bowiem najmniejszą siłą związku korelacyjnego w badanym zbiorze. Zatem wniosły one do analizy zupełnie inny zasób informacji o sezonowości odpływu. Dobór miar według takiego kryterium powinien zapewnić jak największą odrębność zidentyfikowanych typów rzek pod względem ich sezonowej struktury przepływu oraz względnie duże podobieństwo tych obiektów wewnątrz danego typu.



Rys. 60. Typy sezonowości odpływu (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie zlewni o różnym charakterze sezonowej struktury odpływu (B).

Objaśnienia: A: TPO_{sr} [dzień od 1.11.] – średni termin połowy odpływu; TPO_{K1} – pierwszy kwartył TPO ; TPO_{K3} – trzeci kwartył TPO ; IS_{sr} [%] – średni indeks sezonowości odpływu; IS_{K1} – pierwszy kwartył IS ; IS_{K3} – trzeci kwartył IS ; 1 – typy zlewni: **typ A** ($TPO_{sr} > TPO_{K3}$; $IS_{sr} < IS_{K1}$), **typ B** ($TPO_{sr} > TPO_{K3}$; $IS_{sr} > IS_{K1}$; $IS_{sr} < IS_{K3}$), **typ C** ($TPO_{sr} > TPO_{K3}$; $IS_{sr} > IS_{K3}$), **typ D** ($TPO_{sr} > TPO_{K1}$; $TPO_{sr} < TPO_{K3}$; $IS_{sr} < IS_{K1}$), **typ E** ($TPO_{sr} > TPO_{K1}$; $TPO_{sr} < TPO_{K3}$; $IS_{sr} > IS_{K1}$; $IS_{sr} < IS_{K3}$), **typ F** ($TPO_{sr} > TPO_{K1}$; $TPO_{sr} < TPO_{K3}$; $IS_{sr} > IS_{K3}$), **typ G** ($TPO_{sr} < TPO_{K1}$; $IS_{sr} < IS_{K1}$), **typ H** ($TPO_{sr} < TPO_{K1}$; $IS_{sr} > IS_{K1}$; $IS_{sr} < IS_{K3}$), **typ I** ($TPO_{sr} < TPO_{K1}$; $IS_{sr} > IS_{K3}$); B: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, 3 – typy sezonowości odpływu (por. rys. 60A).

Podobnie jak w przypadku wcześniejszych, podobnych grupowań (rys. 29B; rys. 37B; rys. 44B; rys. 45B), w przeprowadzonej klasyfikacji wykorzystano proste miary pozycyjne. Na obu osiach współrzędnych zakreślono po dwie linie, które ilustrują kolejno pierwszy oraz trzeci kwartył danej zmiennej. W ten sposób pole wykresu zostało podzielone na dziewięć oddzielnych części, oznaczonych wielkimi literami alfabetu. Przyjęto założenie, że każde wydzielone tak pole odpowiada innemu typowi zlewni pod względem charakteru sezonowości odpływu.

Zastosowano też analogiczne jak wcześniej kryteria oceny wielkości IS_{sr} oraz TPO_{sr} . Jeżeli wartość danej zmiennej zawiera się w przedziale międzykwartyłowym, należy uznać ją za przeciętną. Wskaźniki TPO_{sr} i IS_{sr} mniejsze od pierwszego kwartyła lub większe od trzeciego kwartyła uznano zaś odpowiednio za wartości niskie i wysokie. Tego rodzaju podział na dziewięć typów sezonowości odpływu zapewnia rozłączność i zupełność typologiczną.

Sezonowość odpływu typu A reprezentuje tylko zlewnia Przemszy. Rzeka ta odznaczała się w wieloleciu relatywnie późnym TPO oraz bardzo wyrównanym przepływem w cyklu rocznym. Jak już wcześniej wspomniano, zlewnia Przemszy na przestrzeni lat została znacząco przekształcona wskutek działalności człowieka, przez co cechy jej reżimu odpływu uległy znacznej modyfikacji idącej w kierunku obniżenia jego sezonowości (Absalon, Matysik 2016).

Do typu B zaliczono pięć rzek górskich. Dwie z nich odwadniają obszar Sudetów (Nysa Kłodzka, Bystrzyca), pozostałe to rzeki karpackie (Skawa, San, Dunajec). Wyróżniają się one stosunkowo późnym TPO oraz przeciętnym IS w wieloleciu. Przesunięty w czasie termin odpływu połowy rocznych zasobów wodnych tych rzek jest konsekwencją późniejszego występowania roztopów w obszarach górskich i częstego nakładania się na siebie roztopów i opadów letnich. Relatywnie późne TPO rzek odwadniających obszary górskie jest również związane ze znacznym udziałem zasilania w ciepłym półroczu, co jest charakterystyczną cechą dla rzek posiadających niwalno-pluwialny bądź pluwialno-niwalny reżimu odpływu (Dynowska 1994; Wrzesiński 2017a).

Do typu C przynależą cztery rzeki karpackie (Poprad, Soła, Raba, Biała). Cechują się one stosunkowo późnym TPO oraz wysokim poziomem sezonowości przepływu. Duży IS w rzekach odwadniających obszary górskie jest konsekwencją występowania względnie stabilnego lub stabilnego terminu okresu pojawiania się niżówek oraz wezbrań formujących się na skutek wzmożonego zasilania z opadów deszczowych w porze letniej i wiosennych roztopów (Wrzesiński 2017a).

Typ D reprezentuje osiem rzek badanego zbioru. Większość z nich odwadnia Pojezierze Pomorskie (Łupawa, Słupia, Wda, Brda, Wieprza, Drawa, Gwda). Rzeki te wyróżnia przeciętny *TPO* oraz słabo zarysowana sezonowa struktura przepływu. Jak już niejednokrotnie wspomniano, niewielki poziom sezonowości przepływu rzek pojeziernych i przymorskich jest związany z retencyjną rolą jezior przepływowych oraz występowaniem obszarów bezodpływowych (Jokiel 1994; Fac-Beneda 2011; Wrzesiński 2017a). W omawianej grupie znajduje się również Wieprz, który wyróżnia się znacznym udziałem zasilania podziemnego, a zlewnia zbudowana ze skał węglanowych posiada bardzo duże zdolności retencyjne (Michalczyk 1986; Jokiel 1994; Jokiel, Stanisławczyk 2016).

Typ E występuje w co czwartej zlewni badanego zbioru. Grupa ta zawiera zatem najwięcej obiektów (10). Rzeki należące do tego typu charakteryzują się zarówno przeciętnym *TPO*, jak i przeciętnym poziomem sezonowej struktury przepływu. W przestrzennym rozmieszczeniu rzek reprezentujących typ E również można dostrzec pewne prawidłowości regionalne. Część z tych rzek odwadnia obszary wyżynne w południowej części kraju (Mała Panew, Warta, Pilica, Kamienna, Nida). Równocześnie należą do niego również niektóre rzeki nizinne i pojezierne (Biebrza, Pisa, Drwęca), a także rzeki dolnośląskie (Oława, Bóbr).

Do typu F należą tylko dwie rzeki karpackie – Wisłok i Wisłoka. Rzeki te cechuje przeciętny *TPO* oraz bardzo wysoki poziom sezonowej struktury przepływu w wieloleciu. Obie rzeki płyną we wschodniej części Beskidów. Być może tak duża sezonowość ich odpływu wynika z bardzo małej retencji, spowodowanej zarówno budową geologiczną (flisz), jak też dużym wylesianiem obszarów ich zlewni (Jokiel 1994; Soja 2002; Bryndal 2014).

Typ G sezonowości odpływu reprezentuje tylko zlewnia Parsęty. Podobnie jak pozostałe rzeki odwadniające Pojezierze Pomorskie charakteryzuje się ona słabo zarysowaną sezonową strukturą przepływu rzeczno-jeziernego. Parsęta wyróżnia się jednak również bardzo wczesnym terminem odpływu połowy rocznych zasobów co należy zapewne wiązać z małą liczbą jezior przepływowych (w relacji do innych rzek Pojezierza Pomorskiego) i stosunkowo słabą jeziornością całej zlewni (Choiński 1991).

Do typu H przynależy pięć rzek badanego zbioru. Wyróżniają się one relatywnie wczesnym *TPO* oraz przeciętnym poziomem sezonowej struktury przepływu. Odwadniają one obszary położone w różnych częściach Polski i reprezentują bardzo zróżnicowane warunki formowania się odpływu rzeczno-jeziernego. Typ ten tworzą zarówno rzeki przepływające przez obszary pojezierzy (Rega, Ina, Łyna), jak też rzeki nizinne (Bzura) i podgórskie (Tanew). Bardzo duży „rozrzut” przestrzenny tych zlewni dowodzi, iż sezonowy reżim odpływu zależy

też w ich zlewniach od czynników „astrefowych” i bardzo często jest wypadkową wielu, nakładających się na siebie procesów hydrologicznych i warunków środowiskowych.

Typ I sezonowej struktury odpływu cechuje cztery zlewnie analizowanego zbioru. Charakteryzują się one wczesnym *TPO* oraz relatywnie wysokim poziomem sezonowości odpływu w wieloleciu. Warto zauważyć, że wszystkie rzeki omawianego typu odwadniają obszary nizinne i posiadają niwalny silnie wykształcony reżim odpływu (Prosna, Wełna, Narew, Liwiec). Względnie wczesny termin odpływu połowy wiąże się z małymi i łatwo drenowanymi zasobami wodnymi oraz z roztopowym ich odnawianiem, zaś wysoki *IS* może być związany z występowaniem tylko jednego wyraźnego okresu wzmożonego zasilania (roztopy) i jednego bardzo stabilnego terminu pojawiania się niżówek letnio-jesiennych (Wrzesiński 2017a).

6. Sezony hydrologiczne.

6.1. Charakterystyka wydzielonych sezonów hydrologicznych.

Zgodnie z przyjętą procedurą delimitacyjną (Jokiel, Tomalski 2014a), istnieje teoretyczna możliwość utworzenia 147 różnych sezonów hydrologicznych w obrębie średnich rocznych hydrogramów przepływu rzek. Wynika to z faktu, iż cechy danego sezonu są kombinacją: siedmiu przyjętych klas wielkości średniego dobowego przepływu i siedmiu poziomów podobnych klas odniesionych do jego zmienności, a także trzech typów autokorelacji w szeregach przepływów dobowych wyznaczonych dla opóźnienia wynoszącego jeden rok ($7 \times 7 \times 3 = 147$; por. rozdz. 4.3.).

W badanej grupie rzek wyróżniono łącznie 29 sezonów hydrologicznych (tab. 3). Zidentyfikowana liczba sezonów jest zatem znacznie większa niż w zbiorach analizowanych wcześniej (6 rzek – 13 sezonów: Stanisławczyk, Tomalski 2015, 4 rzeki – 10 sezonów: Stanisławczyk, Tomalski 2017). Wyróżniono ich również o 10 więcej niż w ciekach środkowej Polski (Jokiel, Tomalski 2014a). Porównywalną liczbę sezonów hydrologicznych zidentyfikowano natomiast dla przepływów w przekrojach wodowskazowych zlokalizowanych wzdłuż

biegu Wisły i Odry (Jokiel, Tomalski 2019). Co więcej, na 22 wydzielone tam sezony, 18 wystąpiło również w analizowanym zbiorze rzek – są to sezony oznaczone w prezentowanej pracy numerami: 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 27, 28.

Zidentyfikowane w wybranych rzekach sezony hydrologiczne są dość zróżnicowane ze względu na wielkość średnich przepływów dobowych. Średnie przepływy dobowe w poszczególnych sezonach zawierają się bowiem w całym zakresie: od bardzo niskich do bardzo wysokich. Liczba sezonów reprezentujących przyjętą klasę średniego przepływu jest podobna. Zidentyfikowano bowiem: osiem sezonów o niskich przepływach, po siedem sezonów charakteryzujących się przeciętnymi i wysokimi przepływami oraz sześć sezonów z bardzo wysokimi przepływami.

Tabela 3.

Sezony hydrologiczne zidentyfikowane w badanym zbiorze rzek Polski.

| Nr | Charakterystyczne cechy sezonu hydrologicznego | Symbol sezonu | L |
|----|---|---------------|----|
| 1 | bardzo wysokie przepływy, bardzo duża zmienność, brak autokorelacji | BWQ/BDZ/LOS | 2 |
| 2 | bardzo wysokie przepływy, duża zmienność, brak autokorelacji | BWQ/DZ/LOS | 2 |
| 3 | bardzo wysokie przepływy, duża zmienność, dodatnia autokorelacja | BWQ/DZ/TREND | 2 |
| 4 | bardzo wysokie przepływy, przeciętna zmienność, brak autokorelacji | BWQ/SZ/LOS | 6 |
| 5 | bardzo wysokie przepływy, mała zmienność, brak autokorelacji | BWQ/MZ/LOS | 2 |
| 6 | bardzo wysokie przepływy, mała zmienność, dodatnia autokorelacja | BWQ/MZ/TREND | 1 |
| 7 | wysokie przepływy, bardzo duża zmienność, brak autokorelacji | WQ/BDZ/LOS | 5 |
| 8 | wysokie przepływy, duża zmienność, brak autokorelacji | WQ/DZ/LOS | 5 |
| 9 | wysokie przepływy, duża zmienność, dodatnia autokorelacja | WQ/DZ/TREND | 3 |
| 10 | wysokie przepływy, przeciętna zmienność, brak autokorelacji | WQ/SZ/LOS | 18 |
| 11 | wysokie przepływy, przeciętna zmienność, dodatnia autokorelacja | WQ/SZ/TREND | 6 |
| 12 | wysokie przepływy, mała zmienność, brak autokorelacji | WQ/MZ/LOS | 1 |
| 13 | wysokie przepływy, mała zmienność, ujemna autokorelacja | WQ/MZ/RYSM | 1 |
| 14 | przeciętne przepływy, bardzo duża zmienność, brak autokorelacji | SQ/BDZ/LOS | 6 |
| 15 | przeciętne przepływy, duża zmienność, brak autokorelacji | SQ/DZ/LOS | 9 |
| 16 | przeciętne przepływy, duża zmienność, dodatnia autokorelacja | SQ/DZ/TREND | 1 |
| 17 | przeciętne przepływy, przeciętna zmienność, brak autokorelacji | SQ/SZ/LOS | 16 |
| 18 | przeciętne przepływy, przeciętna zmienność, dodatnia autokorelacja | SQ/SZ/TREND | 12 |
| 19 | przeciętne przepływy, mała zmienność, brak autokorelacji | SQ/MZ/LOS | 3 |
| 20 | przeciętne przepływy, mała zmienność, dodatnia autokorelacja | SQ/MZ/TREND | 1 |
| 21 | niskie przepływy, bardzo duża zmienność, brak autokorelacji | NQ/BDZ/LOS | 2 |
| 22 | niskie przepływy, duża zmienność, brak autokorelacji | NQ/DZ/LOS | 2 |
| 23 | niskie przepływy, duża zmienność, dodatnia autokorelacja | NQ/DZ/TREND | 2 |
| 24 | niskie przepływy, przeciętna zmienność, brak autokorelacji | NQ/SQ/LOS | 15 |
| 25 | niskie przepływy, przeciętna zmienność, dodatnia autokorelacja | NQ/SZ/TREND | 13 |
| 26 | niskie przepływy, mała zmienność, brak autokorelacji | NQ/MZ/LOS | 10 |
| 27 | niskie przepływy, mała zmienność, dodatnia autokorelacja | NQ/MZ/TREND | 10 |
| 28 | niskie przepływy, mała zmienność, ujemna autokorelacja | NQ/MZ/RYSM | 3 |
| 29 | bardzo niskie przepływy, bardzo duża zmienność, brak autokorelacji | BNQ/BDZ/LOS | 1 |

Objaśnienia: symbol sezonu – oznaczenia zgodne z rozdz. 4.3.; L – liczba rzek, w których wyróżniono dany sezon hydrologiczny.

Wydzielone sezony hydrologiczne są zróżnicowane również pod względem liczby wystąpień. Niemal w co drugiej rzece (18 przypadków) zidentyfikowano sezon odznaczający się

wysokimi przepływami o przeciętnej zmienności oraz brakiem istotnej autokorelacji (sezon 10). W relatywnie dużej liczbie rzek wyróżniono także sezony cechujące się przeciętnymi przepływami i ich przeciętną zmiennością (sezon 17) oraz niskimi przepływami o przeciętnej zmienności (sezon 24) – odpowiednio: 16 i 15 przypadków.

W zidentyfikowanym zbiorze dominują jednak sezony, które odznaczają się stosunkowo małą liczbą wystąpień. Uwagę zwraca szczególnie fakt, iż wydzielono dość dużo sezonów, które występują tylko w jednej (sezony: 6, 12, 13, 16, 20, 29) lub w dwóch rzekach (sezony: 1, 2, 3, 5, 21, 22, 23). Cechują się one zwykle zróżnicowaną wielkością przepływu, chociaż większość z pojedynczo występujących sezonów charakteryzuje się bardzo wysokimi bądź wysokimi przepływami o różnym poziomie zmienności i odmiennym charakterze autokorelacji w obrębie jednoimiennych przepływów dobowych. Należy zauważyć, że rzeki w badanym zbiorze przepływają przez różnorodne regiony fizycznogeograficzne Polski, przez co charakteryzują się odmiennymi warunkami formowania się przepływu. Można zatem przyjąć, iż zestaw sezonów hydrologicznych zidentyfikowany w danej rzece jest charakterystyczny nie tylko dla niej, ale może być jednocześnie typowy dla regionu, przez który ona przepływa.

Warto zwrócić szczególną uwagę, że aż dwanaście wydzielonych sezonów składa się z dni, które wyróżniają się statystycznie istotną autokorelacją w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych (test Boxa–Ljunga na poziomie $\alpha=0,05$). W dwóch z nich (sezony: 13 i 28) zidentyfikowano istotną autokorelację ujemną. Dowodzi to, że w ciągach średnich dobowych przepływów w tych sezonach występują istotne statystycznie zmiany o charakterze rytmu innego niż roczny lub też zachodzące w nich zmiany wieloletnie przebiegają skokowo. W pozostałych dziesięciu sezonach wykryto istotną autokorelację dodatnią. Oznacza to, że zmiany zachodzące w ciągach średnich dobowych przepływów można opisać funkcją trendu – przepływy rosną lub maleją w skali wielolecia. Należy również zauważyć, iż sezony wyróżniające się istotną autokorelacją mogą występować tylko w jednej rzece (sezony: 6, 13, 16, 20; rzeki: Bóbr, Pisa, Rega, Warta), ale najczęściej wykrywano je w większej liczbie cieków (np. sezony: 25, 18 i 27 zidentyfikowano odpowiednio w: 13, 12 i 10 rzekach). Największy wpływ na wieloletnie zmiany wielkości i sezonowej struktury przepływu rzek wywiera najczęściej działalność człowieka na terenie zlewni, a przede wszystkim prowadzona na szeroką skalę gospodarka wodna – np. oddziaływanie sztucznych zbiorników wodnych. Kolejnej przyczyny należy upatrywać w postępujących zmianach klimatu, których konsekwencją jest modyfikacja warunków obiegu wody i zmiany w reżimie rzeczonym.

Tabela 4.

Liczba wydzielonych sezonów hydrologicznych i ich wystąpień na średnich rocznych hydrogramach przepływu w badanej grupie rzek.

| Wodowskaz | Liczba sezonów hydrologicznych (numery sezonów zgodne z tab. 3) [N] | Liczba wystąpień sezonów hydrologicznych [n] | Średnia liczba wystąpień pojedynczego sezonu w ciągu roku [L = n/N] |
|---------------------------------|---|---|--|
| Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 5 (<u>3</u> , 10, 14, 24, <u>27</u>) | 16 | 3,2 |
| Nysa Kłodzka – Kłodzko | 4 (5, 15, 17, 24) | 15 | 3,8 |
| Oława – Oława | 6** (4, 14, 17, <u>18</u> , <u>25</u> , <u>27</u>) | 17 | 2,8 |
| Bystrzyca – Jarnaltów | 4 (7, <u>11</u> , 17, <u>25</u>) | 10 | 2,5 |
| Bóbr – Żagań | 5 (<u>6</u> , 14, 17, 24, <u>25</u>) | 10 | 2,0 |
| Warta – Działoszyn | 4 (4, 15, <u>18</u> , <u>20</u>) | 15 | 3,8 |
| Prosna – Bogusław | 3 (10, <u>18</u> , 24) | 8 | 2,7 |
| Wełna – Pruśce | 4 (<u>11</u> , 21, 24, <u>25</u>) | 8 | 2,0 |
| Gwda – Ptusza | 3* (<u>9</u> , 10, <u>25</u>) | 7 | 2,3 |
| Drawa – Drawiny | 3* (8, 19, <u>25</u>) | 5 | 1,7 |
| Ina – Goleniów | 3* (<u>9</u> , 17, <u>25</u>) | 6 | 2,0 |
| Przemsza – Jeleń | 5 (4, <u>11</u> , 15, <u>25</u> , <u>27</u>) | 14 | 2,8 |
| Soła – Oświęcim | 5 (2, 14, 17, <u>18</u> , 24) | 17 | 3,4 |
| Skawa – Wadowice | 4 (7, 10, 24, <u>25</u>) | 13 | 3,3 |
| Raba – Proszówki | 4 (1, 17, 26, <u>27</u>) | 19 | 4,8** |
| Poprad – Muszyna | 4 (10, 15, 26, <u>28</u>) | 9 | 2,3 |
| Dunajec – Nowy Sącz | 5 (7, 12, 17, 24, <u>28</u>) | 14 | 2,8 |
| Biała – Koszyce Wielkie | 4 (10, 17, 26, <u>27</u>) | 17 | 4,3 |
| Nida – Pińczów | 4 (4, 15, <u>18</u> , 24) | 13 | 3,3 |
| Wiśłoka – Mielec | 5 (4, 15, 17, <u>18</u> , <u>28</u>) | 20** | 4,0 |
| San – Lesko | 4 (5, 7, <u>18</u> , 24) | 13 | 3,3 |
| Wisłok – Tryńcza | 3* (7, <u>18</u> , 24) | 14 | 4,7 |
| Tanew – Harasiuki | 4 (<u>3</u> , 15, 17, <u>27</u>) | 13 | 3,3 |
| Kamienna – Kunów | 4 (10, 14, <u>18</u> , 24) | 9 | 2,3 |
| Wieprz – Krasnystaw | 3* (1, 17, <u>18</u>) | 8 | 2,7 |
| Pilica – Przedbórz | 4 (4, 14, 17, <u>25</u>) | 15 | 3,8 |
| Narew – Suraż | 4 (<u>11</u> , 17, <u>18</u> , 24) | 12 | 3,0 |
| Biebrza – Burzyn | 4 (2, 15, 19, <u>25</u>) | 8 | 2,0 |
| Pisa – Ptaki | 4 (10, <u>13</u> , 15, 26) | 7 | 1,8 |
| Liwiec – Łochów | 4 (10, <u>11</u> , 22, 26) | 13 | 3,3 |
| Bzura – Sochaczew | 3* (10, 17, <u>27</u>) | 8 | 2,7 |
| Drwęca – Elgiszewo | 4 (10, 17, <u>23</u> , 26) | 6 | 1,5 |
| Brda – Tuchola | 3* (10, <u>18</u> , 29) | 6 | 2,0 |
| Wda – Czarna Woda | 3* (<u>9</u> , <u>11</u> , <u>25</u>) | 3* | 1,0* |
| Rega – Trzebiatów | 3* (10, <u>16</u> , 24) | 7 | 2,3 |
| Parsęta – Bardy | 4 (10, 21, <u>25</u> , 26) | 8 | 2,0 |
| Wieprza – Stary Kraków | 5 (8, 10, 22, 26, <u>27</u>) | 16 | 3,2 |
| Słupia – Słupsk | 5 (8, 10, 24, 26, <u>27</u>) | 8 | 1,6 |
| Łupawa – Smołdzino | 5 (8, 10, 19, <u>23</u> , <u>27</u>) | 13 | 2,6 |
| Łyna – Sępól | 3* (8, 10, 26) | 7 | 2,3 |

Objaśnienia: * - najmniejsza wartość występująca w danej kolumnie; ** - największa wartość występująca w danej kolumnie; podkreślono numery sezonów, które charakteryzują się statystycznie istotną autokorelacją w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych.

W każdej z rzek badanego zbioru wydzielono od 3 do 6 sezonów hydrologicznych (tab. 4). Największą liczbę sezonów zidentyfikowano w Oławie. Natomiast w jedenastu rzekach odnotowano występowanie tylko trzech sezonów. W tej ostatniej grupie największy udział mają rzeki pojezierne i przymorskie. Należy jednak zaznaczyć, że nie dostrzeżono w tym zbiorze rzek wyraźnych prawidłowości przestrzennych. Małą liczbą sezonów odznaczają się bowiem rzeki płynące w różnych regionach Polski (np.: Bzura, Wieprz, Wisłok, Proсна).

Dla porównania, w każdym ze zbadanych wcześniej cieków ze środkowej Polski zidentyfikowano od 3 do 5 sezonów hydrologicznych (Jokiel, Tomalski 2014a). Jednocześnie, liczba wydzielonych w tej pracy sezonów hydrologicznych jest taka sama jaką uzyskano wcześniej w przypadku rzek odwadniających różne regiony Polski (Stanisławczyk, Tomalski 2015, 2017) oraz posterunków wodowskazowych zlokalizowanych wzdłuż biegu Wisły i Odry (Jokiel, Tomalski 2019).

Rzeki w badanym zbiorze są zróżnicowane również pod względem liczby wystąpień sezonów hydrologicznych w obrębie średniego rocznego hydrogramu przepływu (tab. 4). Wynika to z faktu, że każdy z sezonów może w ciągu przeciętnego roku wystąpić raz, ale może również pojawić się wiele razy. Przykładów sezonów, które zidentyfikowano na średnim rocznym hydrogramie przepływu rzeki tylko raz jest bardzo wiele – są to między innymi: sezony 8 i 25 wykryte w Drawie, sezon 10 w Drwęcy oraz sezon 2 w Biebrzy.

Z kolei, przypadek Wisłoki doskonale oddaje sytuację, w której dany sezon może wystąpić nie tylko wielokrotnie w jednej rzece, ale co więcej, można go odnaleźć w różnych porach roku. Dla przykładu: sezon 17, charakteryzujący się przeciętnymi przepływami o średniej zmienności w wieloleciu oraz brakiem istotnej autokorelacji w ciągach jednoimiennych przepływów dobowych, wyróżniono w Wisłoce aż dziewięć razy i wystąpił on we wszystkich porach roku. Jednocześnie, sezon ten wystąpił siedmiokrotnie na hydrogramie przepływu Nysy Kłodzkiej. Identyczną liczbę wystąpień odnotowano również w przypadku sezonów 24 i 26 – pierwszy z nich zidentyfikowano w Małej Panwi, Skawie i Dunajcu, natomiast drugi – w Rabie.

W związku z tym, że konkretny sezon może występować w danej rzece wielokrotnie, liczba wystąpień sezonów hydrologicznych w badanej grupie rzek zmienia się od 3 do nawet 20. Największą liczbę wystąpień sezonów zidentyfikowano w Wisłoce. Najbardziej interesującym przypadkiem w analizowanym zbiorze rzek wydaje się jednak Wda, dla której wyróżniono trzy sezony i każdy z nich wystąpił tylko jeden raz (tab. 4). Należy zauważyć, że w dotychczas przeprowadzonych badaniach nigdy nie wydzielono tak małej liczby wystą-

pień sezonów hydrologicznych. W rzekach środkowej Polski (Jokiel, Tomalski 2014a) oraz w ciekach odwadniających różne regiony kraju liczba wystąpień sezonów zawierała się w przedziale od 7 do 19 (Stanisławczyk, Tomalski 2015, 2017). Na średnich rocznych hydrogramach przepływu przekrojów wodowskazowych zlokalizowanych wzdłuż biegu Odry oraz Wisły liczba wystąpień sezonów wahała się natomiast między 4 a 19 (Jokiel, Tomalski 2019).

Warto zwrócić uwagę, że relatywnie małą liczbę wystąpień sezonów hydrologicznych można zaobserwować w większości rzek pojeziernych i przymorskich. Występowanie jezior przepływowych oraz zagłębień chłonnych ma decydujący wpływ na zmniejszenie dynamiki odpływu cieków odwadniających obszary pojezierne (Jokiel 1994; Fac-Beneda 2011; Wrześciński 2017a). Wydaje się, że znalazło to wyraz w stosunkowo małej liczbie wystąpień sezonów hydrologicznych w tych rzekach.

Z kolei, największe rozczłonkowanie średniego hydrogramu przepływu (najwięcej różnych sezonów) zidentyfikowano głównie w ciekach przepływających przez obszary górskie i niektóre wyżynne. Rzeki górskie charakteryzują się bowiem wyjątkowo dużą dynamiką przepływu. Sprzyjają temu relatywnie małe zdolności retencyjne ich zlewni oraz żywa rzeźba terenu (Radecki-Pawlik i in. 2020). Cieki odwadniające obszary górskie wyróżniają się ponadto małym udziałem zasilania podziemnego, a w ich zlewniach przeważają szybkie formy odpływu (Bryndal 2014; Wrześciński 2017c). W grupie rzek górskich wyraźnie odznacza się jednak Poprad, w którym zanotowano stosunkowo małą liczbę wystąpień sezonów hydrologicznych ($n=9$). Wyniki wcześniejszych badań prowadzonych przez Wrześcińskiego (2017bc) również wskazują na pewną odmienność sezonowego rozkładu przepływu w rzekach zlewni Dunajca. Rzeka ta wraz ze swoimi dopływami w górnym biegu (w tym z Popradem) charakteryzuje się pluwialno-niwalnym reżimem odpływu. Jednocześnie, zlewnie tatrzańskie wyróżniają się największą zasobnością wodną, wyrażoną w postaci średniego odpływu jednostkowego ($50 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) oraz odznaczają się jednymi z największych wskaźników koncentracji odpływu Oliviera (*GMO*) (Soja 2002). Należy jednak zauważyć, że w Dunajcu występuje większa liczba sezonów hydrologicznych niż w Popradzie. Można przypuszczać, że wzrost liczby sezonów jest w tym przypadku konsekwencją gospodarki wodnej prowadzonej w kompleksie zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne. Warto zauważyć, że zbiorniki wodne wpływają nie tylko na zmiany stosunków hydrologicznych rzek, ale również na ich dynamikę przepływu (Dynowska 1984). Co więcej, w przypadku Dunajca udokumentowano również wpływ Zbiornika Czorsztyńskiego na zmianę naturalnego reżimu termicznego tej rzeki (Wiejaczka i in. 2015).

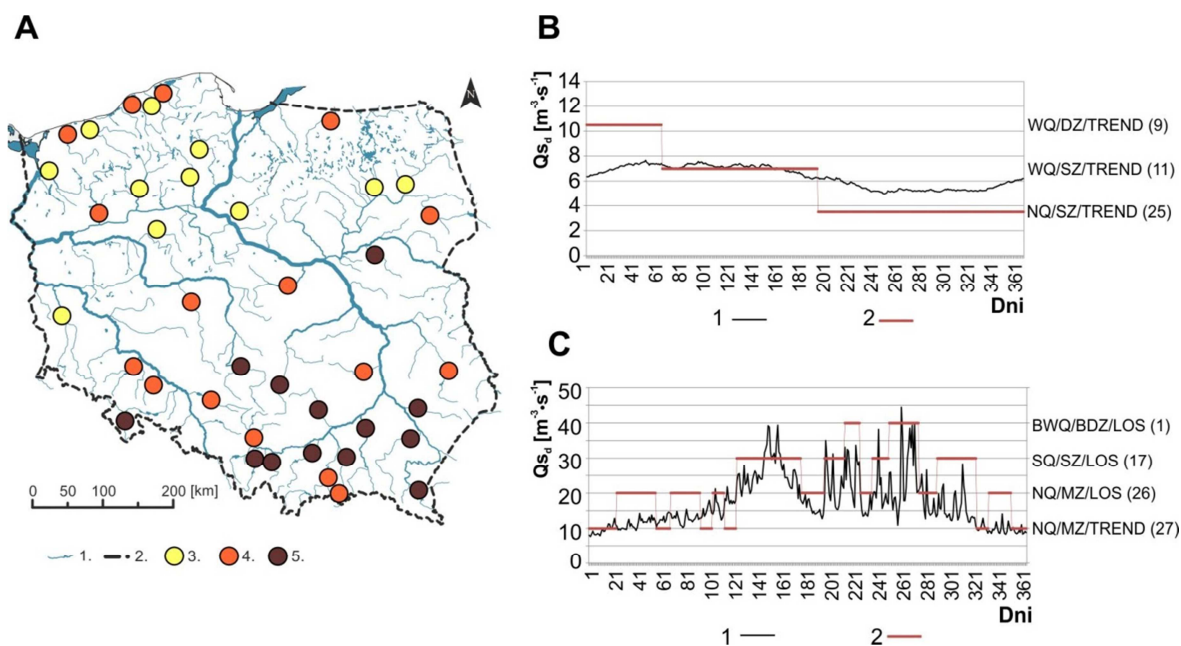
Relatywnie dużą liczbę wystąpień sezonów hydrologicznych zidentyfikowano również w części rzek odwadniających obszary wyżynne. Należą do nich: Mała Panew, Oława, Nida, Tanew oraz Pilica. Wydaje się, że dla niektórych z wyżej wymienionych rzek, przyczyn dużej zmienności sezonowej struktury ich przepływu, mogącej skutkować zwiększeniem liczby wystąpień sezonów hydrologicznych, należy upatrywać w intensywnej ingerencji człowieka w środowisko naturalne. Jako przykład można podać Oławę, której jedną z funkcji jest zaopatrzenie w wodę Wrocławia. Jednocześnie, do Oławy przekierowywana jest część zasobów wodnych Nysy Kłodzkiej poprzez kanał przerzutowy Nysa–Oława (Stasiewicz 2002). W przypadku Nidy zmiany w sezonowym rozmieszczeniu odpływu mogą być związane z intensywnymi pracami regulacyjnymi i melioracyjnymi prowadzonymi w górnym i środkowym biegu rzeki w drugiej połowie XX wieku. Miały one na celu zmniejszenie ryzyka wystąpienia powodzi (Łajczak 2006; Łupaszek 2013). Wydaje się, że w zlewni Pilicy zmiany sezonowej struktury przepływu rzek wynikają w głównej mierze ze zmienności czynników klimatycznych (Zlewnia Pilicy 2017). Jednak działalność człowieka również w pewnym stopniu modyfikuje wielkość przepływu rzek jej systemu. Na obszarze zlewni Pilicy istnieje bowiem rozbudowana sieć rowów melioracyjnych. Dzięki zamontowanym w ich obrębie urządzeniom hydrotechnicznym, ilość wody znajdującej się w rowach melioracyjnych może być regulowana, czyli odprowadzana do, lub wyprowadzana z dopływów Pilicy na potrzeby gospodarstwa. Prowadzi to oczywiście do zwiększenia dynamiki przepływu poszczególnych rzek, w tym samej Pilicy.

W grupie cieków odwadniających Pojezierze Pomorskie, warto zwrócić uwagę na Wieprzę oraz Łupawę. Na tle pozostałych rzek przepływających w tej części Polski wyróżniają się one znacznie większą liczbą wystąpień sezonów hydrologicznych. Warto zauważyć, że we wcześniejszych badaniach prowadzonych przez Wrzesińskiego (2014) rzeki te zostały zakwalifikowane do grupy cieków, które odznaczają się najmniejszą stabilnością reżimu odpływu oraz najsilniejszymi zmianami sezonowej struktury przepływu zachodzącej w wyniku działalności człowieka. W grupie rzek, które podlegają w wieloletnim w największym stopniu antropopresji znalazło się również kilka innych cieków z badanego zbioru, w tym: Oława, Drwęca, Ina oraz Drawa.

Wody prowadzone przez Łupawę oraz Wieprzę są szeroko wykorzystywane w hydroenergetyce. W środkowym biegu pierwszego z cieków zlokalizowanych jest sześć przepływowych elektrowni wodnych (w miejscowościach: Smółdzino, Drzeżewo, Łebień, Pogonice, Łupawa, Żelkowo) (Drwal i in. 2011). Na Wieprzy funkcjonują natomiast cztery hydroelektrownie: Kępice, Kępce, Biesowice i Kruszcze (Elektrownie Wodne Ziemi Słupskiej;

Elektrownie wodne rzek Pomorza Środkowego). Wydaje się zatem, że duża liczba wystąpień sezonów hydrologicznych w Łupawie oraz Wieprzy może być związana z prowadzoną gospodarką wodną w obrębie ich zlewni i funkcjonowaniem elektrowni wodnych wzdłuż biegu tych rzek. Jednak jak wcześniej wspomniano, wpływ zespołów małych elektrowni wodnych na reżim przepływu rzek wymaga bardziej szczegółowych badań.

Wyraźne prawidłowości regionalne można zaobserwować w przestrzennym rozmieszczeniu średniej liczby wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego w ciągu roku (L) (rys. 61A). Charakterystyka ta jest obliczana jako stosunek liczby wystąpień sezonów hydrologicznych do liczby sezonów hydrologicznych w danej rzece. Ta prosta w konstrukcji miara pozwala ocenić stopień „rozcłonkowania” średniego rocznego hydrogramu przepływu każdej rzeki, przez co możliwa jest analiza porównawcza wszystkich zbadanych rzek. Średnia liczba wystąpień pojedynczego sezonu w ciągu roku mniejsza od wartości pierwszego kwartyla ($L < 2,0$) została uznana za małą. Każdą L większą od trzeciego kwartyla ($L > 3,3$) oceniono jako dużą. Średnią liczbę wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego mieszczącą się w rozstępie międzykwartylowym uznano zaś za przeciętną.



Rys. 61. Przestrzenne rozmieszczenie średniej liczby wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego w ciągu roku w badanej grupie rzek (A) oraz średnie roczne hydrogramy przepływu Wdy (B) i Raby (C) wraz z wyróżnionymi sezonami hydrologicznymi.

Objaśnienia: A: 1 – rzeki i zbiorniki wodne, 2 – granica państwa, średnia liczba wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego w ciągu roku (L): 3 – mała (2,0 i mniejsza), 4 – przeciętna (2,1–3,2), 5 – duża (3,3 i większa); B, C: 1 – Q_{sd} średni dobowy przepływ z wielolecia [$m^3 \cdot s^{-1}$], 2 – sezony hydrologiczne, WQ/DZ/TREND – symbol sezonu (zgodny z tab. 3).

Najmniejszą średnią liczbą wystąpień pojedynczego sezonu w ciągu roku charakteryzuje się większość rzek odwadniających obszary pojezierne (Wda, Drwęca, Słupia, Drawa, Pisa, Wełna, Ina, Brda, Parsęta). Liczba wystąpień pojedynczego sezonu nie przekracza w tych rzekach wartości 2,0, co wskazuje na małe rozczłonkowanie hydrogramu przepływu rocznego. Relatywnie małą L odznaczają się również Biebrza oraz Bóbr. Zatem kojarzony z obszarami górskim Sudetów Bóbr w Żaganiu, charakteryzuje się hydrogramem słabo rozczłonkowanym, typowym dla obszarów pojeziernych i terenów młodoglacjalnych. Warto jednak zauważyć, że reżim hydrologiczny tej rzeki jest w znacznym stopniu przekształcony wskutek działalności antropogenicznej. Na Bobrze zlokalizowanych jest bowiem kilka zbiorników wodnych oraz hydroelektrowni. Dwa z tych zbiorników retencyjnych – Bukówka i Pilchowice, są jednymi z większych tego typu obiektów na Dolnym Śląsku. Co więcej, Bóbr jest recypientem rzek, na których również znajduje się duża liczba sztucznych zbiorników wodnych. Jako przykład można podać Kwisę, na której również zlokalizowane są dwa duże zbiorniki: Leśna i Złotniki (Kasprzak 2010; Rzętała 2017; Elektrownie wodne na Bobrze). Wszystkie wymienione wyżej czynniki sprawiają, że Bóbr w rejonie Żagania nabiera cech rzeki o stosunkowo małej dynamice przepływu w wieloleciu.

Największą średnią liczbą wystąpień różnych sezonów hydrologicznych wyróżnia się natomiast większość rzek górskich (Raba, Wisłok, Biała, Wisłoka, Nysa Kłodzka, Soła, San, Skawa) oraz niektóre rzeki płynące przez obszary wyżynne (Warta, Pilica, Nida, Tanew). Zaskakujące jest to, że relatywnie dużą L charakteryzuje się również Liwiec odwadniający obszary typowo nizinne. Dla wymienionych rzek średnia liczba wystąpień pojedynczego sezonu wynosi 3,3 lub więcej. Oznacza to, że średni roczny hydrogram przepływu jest mocno rozczłonkowany. Interesującym faktem jest natomiast brak rzek tatrzańskich (Popradu i Dunajca) w zbiorze cieków charakteryzujących się największą liczbą wystąpień sezonów hydrologicznych. Jak już wspomniano wcześniej, Dunajec i Poprad odznaczają się dość specyficzną sezonową strukturą przepływu (Wrzesiński 2017c). W obrębie rocznych hydrogramów tych rzek wyraźnie zaznaczają się długie okresy wysokich przepływów. Wynika to z faktu, że w Dunajcu i Popradzie wiosenne wezbranie wywołane roztopami często przechodzi w letnie wezbranie opadowe. Zidentyfikowane w tych rzekach sezony o wysokich przepływach występują więc często nieprzerwanie od marca do końca czerwca. Ma to zatem wpływ na mniejszą liczbę wystąpień zidentyfikowanych sezonów hydrologicznych w obu rzekach.

Przeciętnym rozczłonkowaniem hydrogramu przepływu charakteryzują się rzeki przepływające przez różne regiony Polski. Do grupy tej zaliczono część rzek pojeziernych i przy-morskich (Gwda, Rega, Łupawa, Wieprza, Łyna). Przeciętnym rozczłonkowaniem rocznego

hydrogramu przepływu wyróżniają się również niektóre ciekły przepływające przez obszary nizinne (Prosna, Narew, Bzura) i wyżynne (Przemsza, Kamienna, Wieprz). Przeciętną średnią liczbą wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego w ciągu roku charakteryzuje się także kilka dopływów górnej Odry (Mała Panew, Oława, Bystrzyca).

Najmniejszą możliwą liczbą wystąpień pojedynczego sezonu w przeciętnym roku wyróżnia się wspomniana wcześniej Wda ($L=1,0$) (rys. 61B; tab. 4). Tak małego rozczłonkowania hydrogramu przepływu rzeki nie odnotowano w toku przeprowadzonych dotąd badań sezonowości (Jokiel, Tomalski 2014a, 2019; Stanisławczyk, Tomalski 2015, 2017). Największe L zidentyfikowano natomiast w przypadku Raby – wydzielone cztery sezony hydrologiczne występują na przeciętnym hydrogramie przepływu aż 19 razy (rys. 61C; tab. 4). Warto przy tym zauważyć, że w Rabie zidentyfikowano dwa sezony, które wyraźnie dominują pod względem liczby wystąpień. Są to sezony z niskimi przepływami: 26 i 27, występujące odpowiednio: 7 i 6 razy w ciągu roku. Na rysunku rys. 61BC zaprezentowano średnie roczne hydrogramy przepływu Wdy i Raby wraz z wydzielonymi sezonami hydrologicznymi. Układ, długość oraz rodzaj wyróżnionych sezonów doskonale obrazują skrajnie odmienną średnią dynamikę przepływu tych rzek w cyklu rocznym.

Konsekwencją występowania zróżnicowanej liczby sezonów hydrologicznych w badanych rzekach jest także różny czas ich trwania. Zastosowana procedura delimitacyjna zakłada, że minimalny możliwy czas trwania pojedynczego sezonu musi wynosić co najmniej dziesięć dni. Tak krótkie, dziesięciodniowe sezony odnotowano w badanym zbiorze rzek wielokrotnie i obejmowały one różne fazy odpływu. Jako przykład można podać sezony: 24 w Małej Panwi (NQ/SZ/LOS), 17 w Tanwi (SQ/SZ/LOS) oraz 7 w Sanie (WQ/BDZ/LOS). Najdłuższe wydzielone sezony hydrologiczne liczą natomiast aż 172 dni. Zidentyfikowano dwa ich wystąpienia. Jedno wyróżniono w Łynie i obejmuje ono niskie przepływy o małej zmienności przy braku autokorelacji w jednoimiennych przepływach dobowych (sezon 26). Drugi, tak długi sezon wyodrębniono w na rocznym hydrogramie przepływu Wdy. Charakteryzuje się on niskimi przepływami o małej zmienności oraz istotną dodatnią autokorelacją (sezon 25). Relatywnie długim czasem trwania wyróżniają się jeszcze dwa sezony hydrologiczne – sezon 10 (WQ/SZ/LOS) w Brdzie składający się z 164 dni oraz sezon 24 (NQ/SZ/LOS) w Prośnie o czasie trwania równym 160 dni.

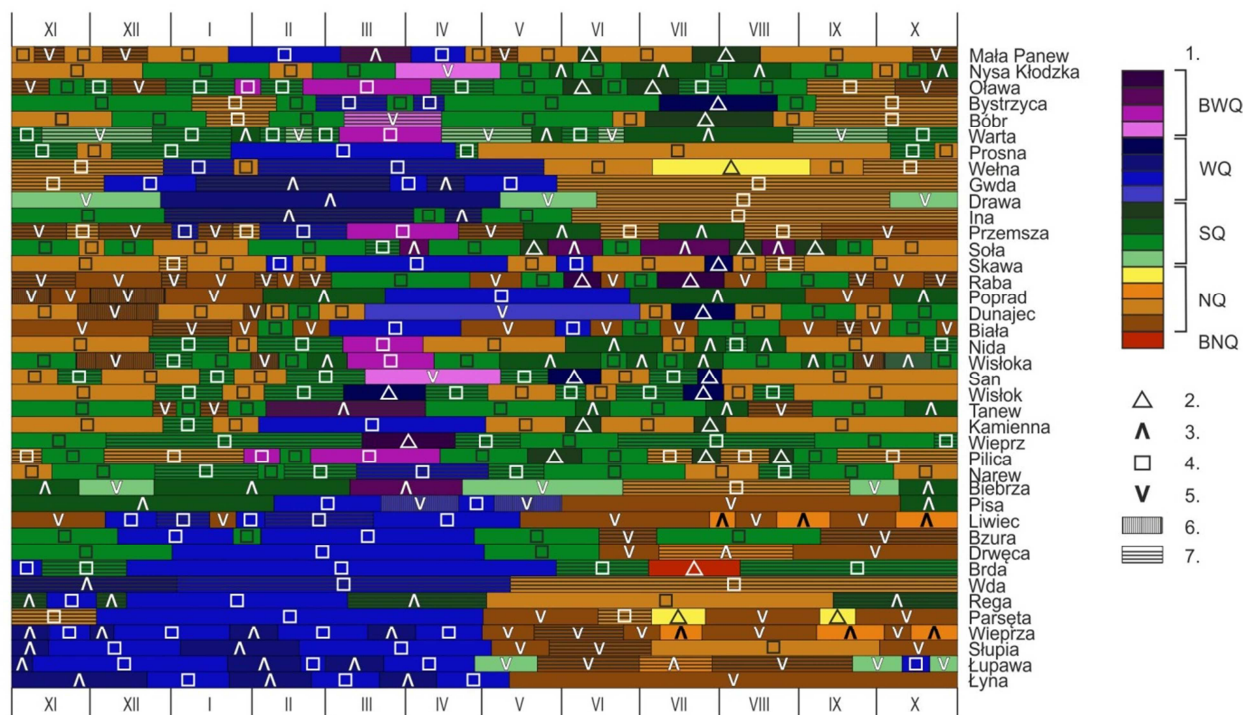
6.2. Zróżnicowanie przestrzenne sezonowej struktury odpływu.

W układzie zidentyfikowanych sezonów hydrologicznych we wszystkich rzekach badanej grupy wyraźnie zaznaczają się okresy wezbraniowe (rys. 62). Należy jednak zauważyć, że zarówno termin wystąpienia sezonów charakteryzujących się bardzo wysokimi lub wysokimi przepływami, jak i ich długość są zróżnicowane w poszczególnych rzekach. Wydaje się, że rozmieszczenie sezonów hydrologicznych o bardzo wysokich bądź wysokich przepływach doskonale obrazuje typ reżimu wodnego danej rzeki.

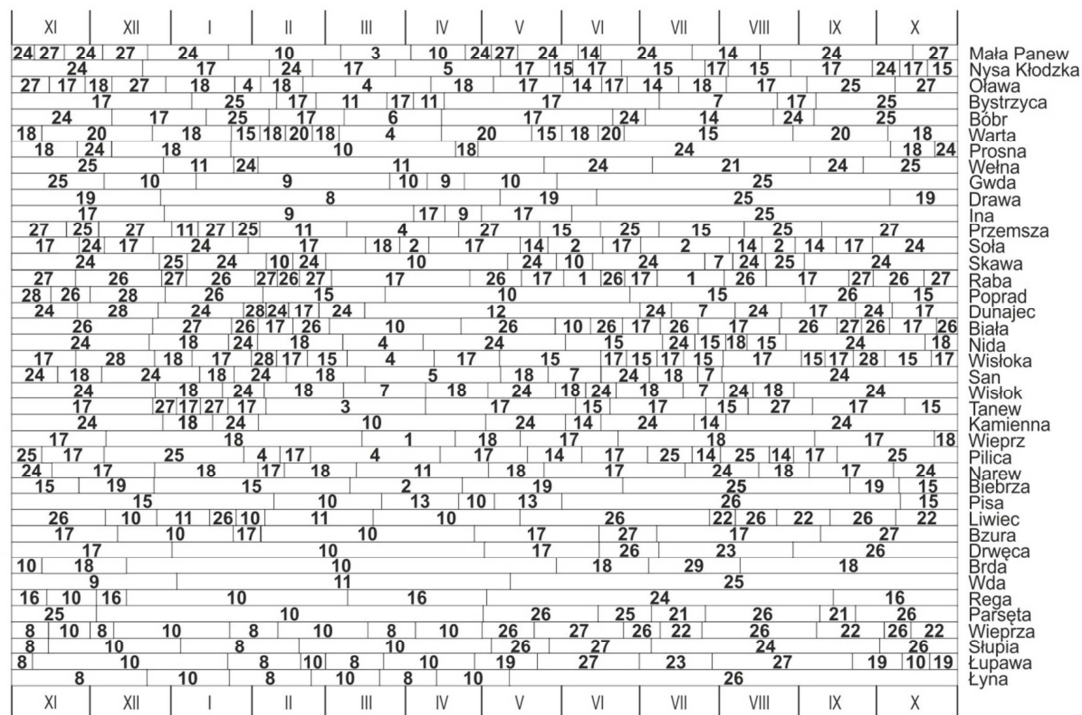
Najwcześniejsze terminy rozpoczęcia sezonów o wysokich przepływach występują w rzekach Przymorza (Wieprza, Słupia, Łupawa) oraz w części rzek odwadniających Pojezierze Pomorskie (Brda, Wda), które cechują się słabo wykształconym reżimem niwalnym (Wrzesiński 2013a). Wezbrania notuje się w wyżej wymienionych rzekach od pierwszego dnia roku hydrologicznego, a ich czas trwania jest bardzo długi. W Wieprzy, Słupi, Łupawie (sezony 8 i 10) oraz Wdzie (sezony 9 i 11) fazy wysokich przepływów o przeciętnej bądź dużej zmienności występują naprzemiennie od początku roku hydrologicznego do pierwszej dekady maja. Tak długi okres wezbraniowy w badanej grupie rzek wyróżnia jeszcze Łynę, która w górnym biegu charakteryzuje się również niwalnym słabo wykształconym reżimem rzeczny, przechodzącym w biegu środkowym i ujściowym w typ niwalny średnio wykształcony. Z kolei, w Brdzie sezon wysokich przepływów o przeciętnej zmienności (10) występuje od początku roku hydrologicznego do końca maja. Sezon ten jest jednak na przełomie listopada i grudnia przedzielony sezonem o przeciętnych przepływach (18). W Pisie, która również posiada reżim niwalny słabo wykształcony, okres wezbrań roztopowych jest krótszy i przypada od pierwszej dekady lutego do czerwca. W rzece tej w wymienionym okresie występują po dwa razy sezony o wysokich przepływach oraz przeciętnej lub małej zmienności (10 i 13). W Łupawie, krótki sezon wysokich przepływów i przeciętnej zmienności (10) zanotowano jeszcze w połowie października, zatem pod koniec ciepłego półrocza roku hydrologicznego.

Relatywnie długie okresy wezbraniowe charakteryzują także pozostałe rzeki pojezierne i przymorskie o niwalnym, średnio wykształconym reżimie wodnym. W Parsęcie, sezony hydrologiczne o wysokich przepływach rozpoczynają się w grudniu, kończą natomiast odpowiednio w: maju oraz czerwcu. W Gwdzie natomiast, okresem wezbraniowym jest sekwencja naprzemiennie występujących sezonów wysokich przepływów o przeciętnej lub dużej zmienności (10 i 9). W obrębie średnich rocznych hydrogramów odpływu Drawy i Drwęcy wezbrania występują od ostatnich dni grudnia do maja. W podobnym terminie okres wezbraniowy

A



B



Rys. 62. Sezony hydrologiczne w badanej grupie rzek Polski.

Objařnienia: A: 1 – oznaczenia wielkości przepływów w danym sezonie hydrologicznym zgodnie z tab. 3, 2 – bardzo duża zmienność przepływów, 3 – duża zmienność przepływów, 4 – przeciętna zmienność przepływów, 5 – mała zmienność przepływów, 6 – istotna autokorelacja ujemna jednoimiennych przepływów dobowych w danym sezonie, 7 – istotna autokorelacja dodatnia jednoimiennych przepływów dobowych w danym sezonie (statystyka testowa Boxa–Ljunga na poziomie $\alpha=0,05$); B: numery sezonów hydrologicznych zgodnie z tab. 3.

obserwuje się w Inie. W rzece tej występują jednak dwa wystąpienia sezonu wysokich przepływów o dużej zmienności (9) oddzielone sezonem odznaczającym się przeciętnymi przepływami (17). W Redze natomiast zidentyfikowano dwukrotnie sezon o wysokich przepływach i przeciętnej zmienności (10). Jest on rozdzielony krótkim sezonem przeciętnych przepływów (16). Okres wezbraniowy jest tutaj nieco krótszy niż w pozostałych rzekach pojeziernych i występuje w drugiej połowie listopada oraz od połowy grudnia do pierwszej dekady marca. Warto zauważyć, że znaczna długość sezonów hydrologicznych o wysokich przepływach w rzekach pojeziernych (szczególnie w ciekach Pojezierza Pomorskiego) oraz w rzekach przymorskich jest związana z ich dużą zasobnością wodną oraz bardzo wysokim udziałem zasilania podziemnego w całkowitym, sięgającym lokalnie od 70% do nawet 80% (Jokiel 1994; Michalczyk 2017).

W pozostałych rzekach charakteryzujących się reżimem niwalnym średnio wykształconym sezony wyróżniające się bardzo wysokimi lub wysokimi przepływami są zdecydowanie krótsze, a terminy ich rozpoczęcia są znacznie późniejsze niż w przypadku cieków pojeziernych i przymorskich o tym samym typie reżimu. Najdłuższe okresy wezbraniowe w tej grupie rzek zaobserwowano w: Małej Panwi, Prośnie oraz Kamiennej. W pierwszej z nich, sezon odznaczający się wysokimi przepływami o przeciętnej zmienności (10) występuje dwa razy i jest przedzielony sezonem bardzo wysokich przepływów o dużej zmienności (3). Z kolei, w Prośnie oraz Kamiennej sezon wysokich przepływów i przeciętnej zmienności (10) występuje niemal w tym samym czasie, obejmując okres od końca stycznia do maja.

W grupie rzek odznaczających się średnio wykształconym reżimem niwalnym, sezony o bardzo wysokich przepływach najwcześniej występują w Pilicy oraz Tanwi. W pierwszej z rzek sezon charakteryzujący się bardzo wysokimi przepływami i ich przeciętną zmiennością (4) obejmuje okres od końca stycznia do połowy kwietnia. Sezon ten w połowie lutego jest rozdzielony sezonem przepływów przeciętnych (17). W Tanwi okres wezbraniowy jest nieco krótszy niż w Pilicy – sezon bardzo wysokich przepływów o małej zmienności (3) występuje tutaj od lutego do pierwszej dekady kwietnia.

Sezony hydrologiczne wyróżniające się bardzo wysokimi przepływami w: Bobrze, Warcie, Nidzie oraz Wieprzu są najkrótsze w grupie rzek o reżimie niwalnym średnio wykształconym. Okres wezbraniowy w wyżej wymienionych rzekach rozpoczyna się w pierwszej dekadzie marca, a kończy w pierwszej połowie kwietnia. W Nidzie oraz w Warcie fazę wezbrań reprezentuje sezon bardzo wysokich przepływów o przeciętnej zmienności (4). W przypadku Wieprza jest to sezon o bardzo wysokich przepływach i bardzo dużej

ich zmienności (1). W Bobrze natomiast, sezon wezbraniowy odznacza się bardzo wysokimi i rosnącymi (trend dodatni) przepływami o małej zmienności (6).

W grupie rzek o niwalnym silnie wykształconym reżimie również zaznaczają się wyraźne oraz relatywnie długie okresy wezbraniowe. Najdłuższą fazą wezbrań odznacza się tu Liwiec. Sezony charakteryzujące się wysokimi przepływami i przeciętną zmiennością oraz brakiem autokorelacji lub istotną autokorelacją dodatnią (10 i 11) występują w tej rzece naprzemiennie od pierwszej dekady grudnia do połowy maja – w połowie stycznia są one rozdzielone bardzo krótkim sezonem o małych przepływach i małej zmienności (sezon 26). Stosunkowo długim okresem wezbraniowym wyróżniają się także Bzura oraz Wełna. W pierwszej z wymienionych rzek sezon odznaczający się wysokimi przepływami o przeciętnej zmienności (10) występuje dwa razy w okresie od grudnia do ostatniej dekady kwietnia (na przełomie stycznia i lutego sezon ten jest przedzielony krótkim sezonem z przeciętnymi przepływami – 17). Z kolei, w Wełnie termin rozpoczęcia i zakończenia fazy wezbrań jest nieco późniejszy niż w Liwcu oraz Bzurze. Wezbrania formują się tutaj od początku stycznia niemal do końca maja, co odzwierciedla sezon cechujący się wysokimi przepływami o przeciętnej zmienności oraz dodatniej autokorelacji (11). Na przełomie stycznia i lutego jest on rozdzielony krótkim sezonem o niskich przepływach (24).

W grupie rzek o reżimie niwalnym silnie wykształconym wyraźnie odmienny przebieg występowania wezbrań reprezentują: Narew oraz Biebrza. W wymienionych rzekach sezony świadczące o znacznym wzroście przepływu pojawiają się relatywnie późno, a czas ich trwania jest znacznie krótszy niż w pozostałych ciekach reprezentujących ten typ reżimu. Sezon bardzo wysokich przepływów o małej zmienności (2) oraz sezon wysokich przepływów o przeciętnej zmienności i dodatniej autokorelacji (11) występują odpowiednio w Biebrzy oraz w Narwi od połowy marca do końca kwietnia. Podobne terminy pojawiania się okresów wezbraniowych w rzekach północno-wschodniej Polski udokumentował wcześniej Wrzesiński (2017ac).

W większości rzek o niwalno-pluwialnym reżimie odpływu układ zidentyfikowanych sezonów o bardzo wysokich i wysokich przepływach zdaje się dobrze obrazować typowe dla nich fazy występowania wezbrań (Biernat 1987, 1994; Bryndal 2014). Niemniej jednak, rozmieszczenie tych sezonów pozwala uchwycić również indywidualne cechy okresów wezbraniowych w poszczególnych ciekach. Niemal we wszystkich rzekach o niwalno-pluwialnym reżimie hydrologicznym zaznacza się faza wiosennych wezbrań roztopowych przypadająca głównie w marcu i kwietniu. Wydaje się bardzo zaskakujące, że wyjątek stanowi tutaj Raba, w której po trwającej od listopada do marca fazie niżówek zimowych występu-

je sezon wyróżniający się przeciętnymi przepływami o przeciętnej zmienności. Jak już zauważono w jednym z wcześniejszych opracowań dotyczących wydzielenia sezonów hydrologicznych w rzekach Polski (Stanisławczyk, Tomalski 2017), zgodnie z założeniami przyjętej procedury delimitacyjnej (por. rozdz. 4.3.) nie było możliwości wydzielenia w Raby w miesiącach wiosennych odrębnego sezonu hydrologicznego o bardzo wysokich lub wysokich przepływach. Należy podkreślić, że na średnim rocznym hydrogramie przepływu Raby występowały wiosną dni, które charakteryzowały się bardzo wysokimi przepływami. Dni te nie były jednak zgrupowane w dłuższe sekwencje (minimum dziesięć dni), co uniemożliwiło wyodrębnienie oddzielnego sezonu. Rzeki górskie, a w szczególności karpackie, wyróżniają się największą dynamiką odpływu oraz dużym zróżnicowaniem średnich dobowych przepływów. Wskutek bardzo żywej rzeźby i ogromnego rozczłonkowania terenu, a także niewielkich zdolności retencyjnych zlewni, wezbrania w nich mogą być bardzo krótkie (w tym wypadku krótsze niż założone dziesięć dni) i mieć gwałtowny przebieg (Słowik–Opoka, Brożek 2015).

Najdłuższym sezonem wezbrań roztopowych w grupie rzek o reżimie niwalno-pluwialnym odznacza się Skawa. W rzece tej sezon wysokich przepływów o przeciętnej zmienności (10) występuje od marca do połowy maja. Sezon ten pojawia się jeszcze dwa razy w ciągu roku i wskazuje na istnienie w tej rzece krótkiego epizodu wezbrania śródzimowego (w połowie lutego) oraz bardziej trwałego, letniego wezbrania opadowego (w pierwszej dekadzie czerwca).

W pozostałych rzekach charakteryzujących się reżimem niwalno-pluwialnym faza wiosennych wezbrań roztopowych była znacznie krótsza niż w Skawie. Na średnich rocznych hydrogramach przepływu: Sanu, Wisłoka, Białej i Wisłoki sezony wskazujące na występowanie wezbrań wywołanych topnieniem pokrywy śnieżnej rozpoczynały się również później niż w Skawie oraz wyróżniały się zróżnicowaną wielkością oraz zmiennością odpływu (sezony: 4, 5, 7, 10). W dopływach górnej Odry termin początku wezbrań roztopowych był natomiast wcześniejszy w porównaniu do rzek karpackich. W Oławie sezon bardzo wysokich przepływów o przeciętnej zmienności (4) trwał bowiem od ostatniej dekady lutego do połowy kwietnia. Sezon ten pojawił się w Oławie jeszcze raz na początku lutego, co wskazuje na występowanie krótkiego wezbrania śródzimowego. Z kolei, w Bystrzycy wezbrania roztopowe i mieszane notowane były od początku marca do ostatniej dekady kwietnia, o czym świadczy wydzielenie wówczas sezonu wysokich przepływów o przeciętnej zmienności i dodatniej autokorelacji (11). Sezon ten na przełomie lutego oraz marca był rozdzielony krótkim sezonem przeciętnych przepływów (17).

W obrębie średnich rocznych hydrogramów przepływu trzech rzek karpackich o niwalno-pluwialnym reżimie odpływu zaznaczają się dwa okresy letnich wezbrań. W Skawie są to sezony 10 i 7, w Rabie – 1, a w Sanie – 5 i 7. Występują one w bardzo podobnych terminach w ciepłym półroczu roku hydrologicznego. Pierwszy z nich pojawia się na początku czerwca, drugi natomiast pod koniec lipca. Krótkim, czerwcowym okresem wezbrań wyróżnia się również Biała (sezon 10). Jednocześnie, wezbrania wywołane wzmożonymi opadami atmosferycznymi w lipcu zaznaczają się występowaniem sezonu wysokich przepływów o bardzo dużej zmienności (7) także w Bystrzycy. Zwraca uwagę także fakt, że w przypadku dwóch rzek o niwalno-pluwialnym reżimie zaznacza się tylko jeden sezon wezbraniowy. W Oławie oraz w Wisłoce jest to sezon bardzo wysokich przepływów o przeciętnej zmienności (4) i występuje tylko w fazie wiosennych wezbrań roztopowych. W typowym dla tych rzek okresie wezbrań wywołanych letnimi opadami (czerwiec–lipiec) pojawia się natomiast tylko sekwencja sezonów przeciętnych przepływów o zróżnicowanej zmienności.

Zgodnie z podziałem przedstawionym przez Wrzesińskiego (2013a, 2017a), w badanym zbiorze pluwialno-niwalny reżim odpływu posiadają cztery cieki: Nysa Kłodzka, Soła, Poprad i Dunajec. Już na wstępie zwracają uwagę pewne różnice w układzie zidentyfikowanych sezonów hydrologicznych w tej grupie rzek. W Nysie Kłodzkiej oraz w Sole zanotowano najpóźniejszy termin rozpoczęcia sezonów bardzo wysokich przepływów w całym analizowanym zbiorze rzek. W pierwszej z nich jest to sezon charakteryzujący się bardzo wysokimi przepływami o małej zmienności (5). Trwa on relatywnie długo i obejmuje okres od kwietnia do niemal połowy maja. W Sole natomiast sezon bardzo wysokich przepływów o dużej zmienności (2) zidentyfikowano aż cztery razy w roku i pojawiał się on od początku kwietnia aż do września, przy czym czas trwania poszczególnych wystąpień był stosunkowo krótki.

Znaczne podobieństwo w rozmieszczeniu i długości fazy wezbraniowej odpływu jest natomiast widoczne w Dunajcu i Popradzie. Rzeki te wyróżniają się ponadto relatywnie długimi sezonami wysokich przepływów. W Dunajcu sezon charakteryzujący się wysokimi przepływami o małej zmienności (12) występuje od połowy marca do końca czerwca. Sezon o wysokich przepływach i przeciętnej zmienności (10) w Popradzie jest niewiele krótszy. Dodatkowo, w Dunajcu zidentyfikowano jeszcze dość krótki sezon wysokich przepływów o bardzo dużej zmienności (7) występujący na przełomie lipca i sierpnia. Jak już wcześniej wspomniano (patrz. rozdz. 6.1.), w przypadku obu rzek wiosenne wezbranie roztopowe przechodzi często w letnie wezbranie wywoływane wzmożonymi opadami atmosferycznymi. Taki układ

sezonowej struktury odpływu jest charakterystyczny jedynie dla rzek systemu górnego i środkowego Dunajca (Wrzesiński 2017c).

Układ sezonów o niskich oraz przeciętnych przepływach jest w badanej grupie rzek znacznie bardziej złożony i skomplikowany niż rozkład sezonów wezbraniowych. Szczególnie duże zróżnicowanie jest widoczne w przypadku długości sezonów charakteryzujących się niskimi przepływami w poszczególnych ciekach. Sezony te mogą być krótkie i obejmują wówczas, zgodnie z założeniami metody, minimum dziesięć dni (np. 27 w Małej Panwi). Najdłuższe sezony o niskich przepływach liczą natomiast aż 172 dni i zidentyfikowano je we wspomnianych wcześniej: Wdzie (25) oraz Łynie (26) (patrz. rozdz. 6.1.). Wydaje się, że w rozmieszczeniu oraz długości sezonów wyróżniających się niskimi i średnimi przepływami w badanych rzekach, największe znaczenie posiadają indywidualne warunki kształtowania się odpływu w każdej z ich zlewni. Odpływ w ciągu roku jest bowiem wypadkową uwarunkowań fizycznogeograficznych oraz hydrologicznych tych zlewni oraz działalności człowieka, związanej z prowadzoną gospodarką wodną. Niemniej jednak, w układzie sezonów charakteryzujących się niskimi i przeciętnymi przepływami można doszukać się pewnych przestrzennych podobieństw oraz prawidłowości.

Cechą charakterystyczną dla większości rzek przymorskich (Rega, Parsęta, Wieprza, Słupia) i pojeziernych (Wełna, Gwda, Wda, Pisa, Łyna) cechujących się reżimem niwalnym słabo lub średnio wykształconym jest występowanie długich faz niżówkowych po zakończeniu sezonów wysokich przepływów. Pomiędzy zimowo-wiosennymi wezbraniem a sezonami wyróżniającymi się niskimi przepływami w tych ciekach nie pojawia się zwykle faza przeciętnych przepływów. Dość często występuje także sytuacja, że jeżeli sezon niskich przepływów poprzedza sezon przepływów wysokich, to po jego zakończeniu ponownie notowany jest sezon niskich przepływów (Parsęta, Gwda). Taką samą sytuację zaobserwowano w przypadku sezonów przeciętnych przepływów, które pojawiają się przed odpływami wezbraniowymi oraz po ich ustąpieniu (np. Drawa, Ina, Drwęca, Rega).

Sezony niskich przepływów (niżówek) rozpoczynają się w wymienionych wyżej rzekach pojeziernych oraz przymorskich w maju lub czerwcu i występują do końca roku hydrologicznego. Wyjątkiem jest Pisa, w której w drugiej połowie października zidentyfikowano sezon przeciętnych przepływów (15). W większości tych rzek fazę przepływów niskich reprezentuje cała mozaika relatywnie krótkich sezonów niskich przepływów o zróżnicowanej zmienności oraz poziomie autokorelacji. Warto zwrócić jednak uwagę, że w przypadku: Gwdy, Wdy, Pisy, Łyny oraz Regi przepływy niskie odzwierciedla tylko jeden zwarty sezon niskich przepływów o długim czasie trwania. W dwóch pierwszych rzekach jest to sezon ni-

skich przepływów o przeciętnej zmienności oraz dodatniej autokorelacji (25). W Redze jest to zaś sezon o podobnej dynamice przepływu, ale charakteryzujący się brakiem istotnej autokorelacji (24). W dwóch rzekach odwadniających Pojezierze Mazurskie – Pisie oraz Łynie, sezon niskich przepływów wyróżnia się natomiast przeciętną zmiennością (26).

W pozostałych rzekach odwadniających obszar pojezierzy, po fazie wezbrań i niżówek, występują sezony wyróżniające się przeciętnymi przepływami (Drawa, Ina, Drwęca, Brda, Rega, Łupawa). W grupie tej, tylko w przypadku Brdy sezon charakteryzujący się bardzo niskimi przepływami (29) jest stosunkowo krótki i występuje jedynie od początku lipca do połowy sierpnia. W rzekach przepływających w zachodniej części Pojezierza Pomorskiego sezon odznaczający się niskimi przepływami o przeciętnej zmienności i dodatniej autokorelacji (25) rozpoczyna się w czerwcu i trwa nieprzerwanie do pierwszej dekady października (Drawa), a nawet do końca roku hydrologicznego (Ina). W Redzie sezon o podobnej dynamice przepływu, ale charakteryzujący się brakiem istotnej autokorelacji (24), zidentyfikowano od maja do połowy września. W Drwęcy i Łupawie faza przepływów niskich jest stosunkowo długa, ale składa się z sekwencji relatywnie krótkich sezonów niskich przepływów o zróżnicowanej zmienności (Drwęca – sezony: 23 i 26; Łupawa – sezony: 23 i 27).

W pozostałych rzekach charakteryzujących się reżimem niwalnym średnio wykształconym, termin rozpoczęcia oraz czasy trwania przepływów niskich są również znacznie zróżnicowane. W Małej Panwi, Nidzie i Kamiennej sezon taki o przeciętnej zmienności (24) także występuje bezpośrednio po fazie przepływów wysokich oraz obejmuje znaczną część zarówno ciepłego, jak i chłodnego półrocza. Sezon ten pojawia się w sekwencjach o różnej długości i jest przedzielony sezonami o przeciętnych przepływach.

Najdłuższy sezon o niskich przepływach i przeciętnej zmienności (24) w grupie rzek o reżimie niwalnym średnio wykształconym zidentyfikowano w Prośnie – występuje on tutaj nieprzerwanie od maja do października. W zbiorze cieków reprezentujących ten typ reżimu odpływu warto też zwrócić uwagę na Tanew i Wieprz. W pierwszej z rzek, sezon niskich przepływów o małej zmienności i dodatniej autokorelacji (27) zidentyfikowano tylko trzy razy w ciągu roku i czas trwania tych wystąpień był bardzo krótki. W rzece tej, oprócz typowej fazy wiosennych przepływów wysokich, zidentyfikowano tylko różnego rodzaju sezony o przeciętnych przepływach, trwające przez pozostałą część roku. Z kolei, w Wieprzu w ogóle nie zanotowano sezonów o niskich przepływach. Obie rzeki wyróżniają się znacznym udziałem zasilania podziemnego w całkowitym (wynoszącym od 60% do 80%), co bez wątpienia ma wpływ na wyrównanie odpływu w ciągu roku i bardzo krótkie, trwające poniżej dziesięciu dni, fazy przepływów niskich (Jokiel 1994; Wrzesiński 2017c).

W grupie rzek o niwalnym silnie wykształconym reżimie odpływu wyraźnie odznaczają się Wełna oraz Liwiec. W rzekach tych nie zidentyfikowano bowiem sezonów o przeciętnych przepływach. W obu ciekach wyraźna faza wezbraniowa występuje w bardzo zbliżonych terminach i ma podobną długość. Bezpośrednio przed, jak i po niej zanotowano natomiast różnego rodzaju sezony o niskich przepływach. Różnią się one jednak poziomem zmienności przepływu. W Wełnie sezony niskich przepływów charakteryzują się przeciętną bądź bardzo dużą zmiennością (21, 24, 25). W Liwcu natomiast występują na przemian sezony niskich przepływów o małej lub dużej zmienności (22, 26).

Pozostałe rzeki reprezentujące reżim niwalny silnie wykształcony (Narew, Biebrza, Bzura) są dość podobne do siebie pod względem zaobserwowanej sekwencji sezonów hydrologicznych – szczególnym podobieństwem odznaczają się Narew oraz Biebrza. W rzekach tych na początku roku hydrologicznego pojawia się faza przeciętnych przepływów, po której rozpoczynają się sezony przepływów wysokich związane z wiosennymi wezbraniem roztopowymi lub mieszanymi (w przypadku Bzury okres wezbraniowy jest znacznie dłuższy niż w Biebrzy oraz Narwi i zaczyna się już w grudniu). Po zakończeniu tej fazy, od maja następuje sekwencja sezonów o przeciętnych i niskich przepływach. Mają one różną długość oraz charakteryzują się zróżnicowaną dynamiką przepływu w wieloleciu.

Rozmieszczenie w ciągu roku sezonów o przeciętnych i niskich przepływach w rzekach wyróżniających się niwalno-pluwialnym reżimem hydrologicznym doskonale odzwierciedla dużą dynamikę ich przepływu. Jest ona szczególnie dobrze widoczna w ciekach karpackich (z wyłączeniem Wisłoki). Sezony charakteryzujące się niskimi przepływami zidentyfikowano w tych rzekach w dość typowym dla reżimu niwalno-pluwialnego okresie występowania letnio-jesiennych niżówek. Typy sezonów, ich liczba wystąpień oraz długości są jednak zróżnicowane. W rzekach z dorzecza Odry, zwłaszcza w Oławie oraz Bystrzycy, sezony o niskich przepływach trwają znacznie krócej niż w większości rzek karpackich. Niskie przepływy pojawiają się tutaj na początku jesieni (wrzesień – październik) oraz w listopadzie i w grudniu (Oława). W Bystrzycy notuje się je natomiast na przełomie stycznia i lutego.

W grupie rzek karpackich o niwalno-pluwialnym reżimie odpływu wyróżnia się natomiast Wisłoka. Sezon odznaczający się niskimi przepływami o małej zmienności oraz ujemnej autokorelacji (28) zidentyfikowano w ciągu przeciętnego roku tylko trzy razy (w grudniu, na początku lutego oraz na przełomie listopada i października) i za każdym razem cechował się on dość krótkim czasem trwania. W pozostałej części roku (poza jednym sezonem wezbraniowym) odnotowano w tej rzece wyłącznie sekwencje sezonów z przeciętnymi przepływami.

W grupie rzek górskich reprezentujących pluwialno-niwalny reżim odpływu układ sezonów o niskich i przeciętnych przepływach jest bardzo zróżnicowany. W Nysie Kłodzkiej faza przepływów niskich zaznacza się w miesiącach jesiennych (październik – grudzień) oraz w drugiej połowie lutego. Największy udział w roku hydrologicznym posiadają natomiast sezony o przeciętnych przepływach i przeciętnej bądź dużej zmienności (15 i 17). Podobny układ sezonów występuje w Sole. Najczęściej pojawiają się tu jednak sezony charakteryzujące się przeciętnymi przepływami (14, 17, 18). Fazy przepływów niskich zaznaczają się natomiast tylko w okresie jesienno-zimowym (na początku grudnia, w styczniu i październiku).

Stosunkowo długim czasem trwania sezonów o niskich przepływach, w grupie cieków o pluwialno-niwalnym reżimie hydrologicznym, odznaczają się Dunajec i Poprad. Zwarta faza niskich przepływów rozpoczyna się w tych rzekach już na początku roku hydrologicznego i trwa do lutego (Poprad), a nawet marca (Dunajec). Jednak sezony niskich przepływów pojawiają się również w ciepłym półroczu. W Popradzie sezon niskich przepływów o dużej zmienności (26) zidentyfikowano we wrześniu. W Dunajcu natomiast, krótki sezon o niskich przepływach i przeciętnej zmienności (24) zaobserwowano trzykrotnie w półroczu ciepłym – w połowach lipca i sierpnia oraz na przełomie września i października.

6.3. Wieloletnie trendy przepływów charakterystycznych w zidentyfikowanych sezonach hydrologicznych.

Przeprowadzona procedura delimitacyjna pozwala na identyfikację wielkości oraz poziomu zmienności przepływów dobowych w wydzielonych sezonach hydrologicznych zidentyfikowanych w rocznych cyklach przepływu poszczególnych rzek. Co więcej, analiza istotności współczynnika autokorelacji jednoimiennych przepływów dobowych w obrębie danego sezonu umożliwia również ocenę wieloletnich zmian tych przepływów, zarówno w aspekcie trendów (przy dodatnim współczynniku autokorelacji), jak i okresowych fluktuacji (przy ujemnym współczynniku autokorelacji). Te ostatnie zmiany mogą być wywoływane zarówno przez czynniki naturalne (wahania zmiennych klimatycznych), jak i działalność antropogeniczną.

Jak już wspomniano wcześniej, dwanaście ze zidentyfikowanych sezonów hydrologicznych składa się z dni, które charakteryzują się statystycznie istotną autokorelacją w wielo-

letnich wektorach jednoimiennych przepływów dobowych. Potwierdził to przeprowadzony test Boxa–Ljunga na poziomie $\alpha=0,05$. Warto zauważyć, że sezony te występują niemal we wszystkich rzekach badanego zbioru. Jedynie w Nysie Kłodzkiej oraz Łynie nie wydzielono sezonów hydrologicznych wyróżniających się istotną, wieloletnią autokorelacją jednoimiennych przepływów dobowych (por. rys. 62).

W dwóch sezonach hydrologicznych zidentyfikowano istotną autokorelację ujemną. Pierwszy z nich charakteryzuje się wysokimi przepływami o małej zmienności (13) i odnotowano go tylko w Pisie. Sezon ten pojawia się dwa razy w obrębie cyklu rocznego tej rzeki. Obejmuje przy tym fazę wiosennego wezbrania roztopowego: od połowy marca do połowy kwietnia, a w czasie kolejnego wystąpienia – pojawia się w maju. Wystąpienia te rozdziela sezon wysokich przepływów i przeciętnej zmienności (10). Ujemny współczynnik autokorelacji może świadczyć o tym, że w sezonie tym zachodzą wieloletnie zmiany przepływów o charakterze rytmu. Przyczyna tego zjawiska może być związana z oddziaływaniem Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na zmiany odpływu rzecznej Pisy. Warto bowiem zauważyć, że w okresie wiosennym (szczególnie w marcu), w negatywnej i pozytywnej fazie NAO, notuje się odpowiednio największy spadek i wzrost odpływu w rzekach odwadniających północno-wschodni obszar Polski (Wrzeński 2010). Określenie ewentualnego związku między daną fazą Oscylacji Północnoatlantyckiej a występowaniem rytmu w szeregu jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 13 w Pisie wymaga jednak dokładniejszych badań.

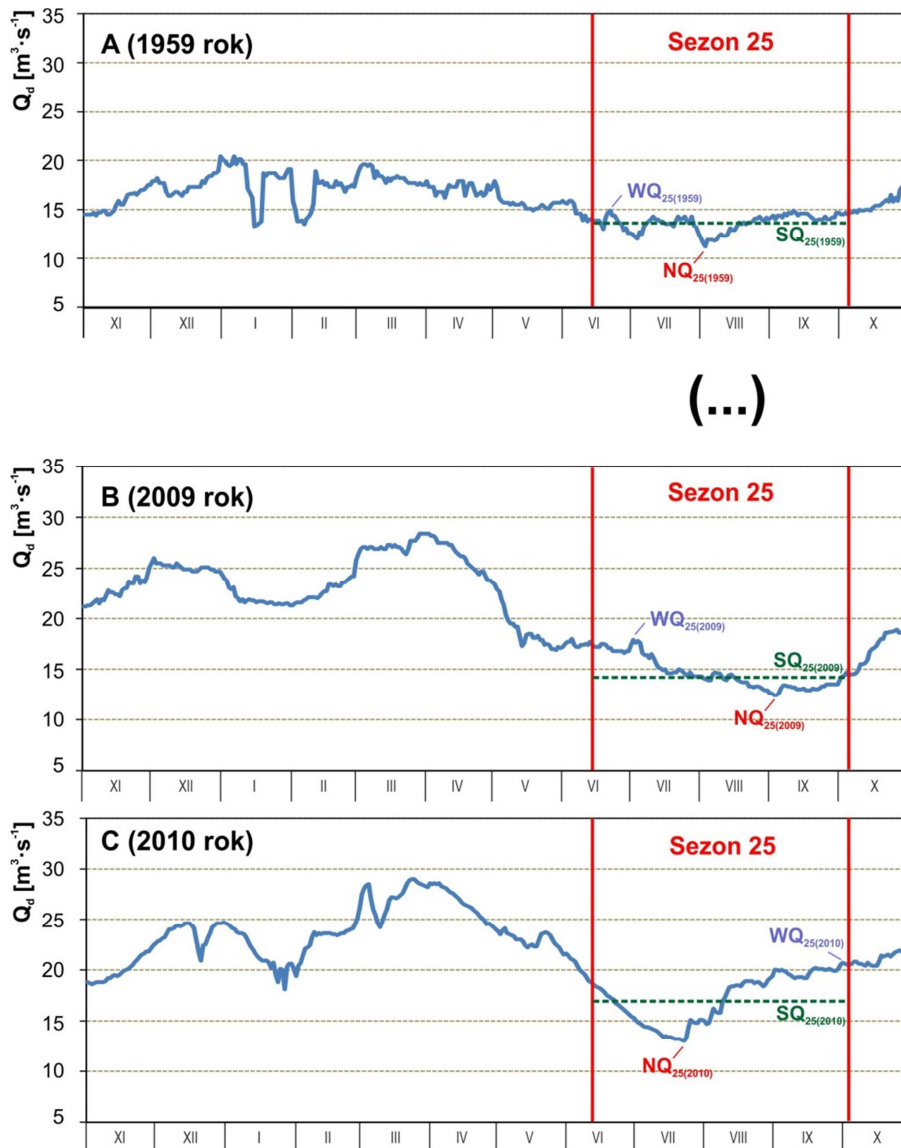
Drugi sezon charakteryzujący się ujemną autokorelacją jednoimiennych przepływów dobowych wyodrębniono w trzech rzekach karpackich – Popradzie, Dunajcu oraz w Wisłoce (por. rys. 62). Sezon 28 wyróżnia się niskimi przepływami o małej zmienności. W Popradzie i Dunajcu występuje on dwukrotnie w obrębie cyklu rocznego. W pierwszej z rzek odnotowano go w fazie jesiennych niżówek (w pierwszej połowie listopada oraz w grudniu). Z kolei, w Dunajcu sezon 28 pojawił się dwukrotnie: w grudniu oraz na początku lutego. Natomiast w Wisłoce zidentyfikowano go trzykrotnie w ciągu przeciętnego roku: w grudniu, na początku lutego i pod koniec września. Warto również podkreślić, że omawiany sezon w Wisłoce jako jedyny cechuje się niskimi przepływami. Wydaje się interesujące, że we wszystkich wymienionych rzekach karpackich sezon 28 wystąpił w grudniu. Jak już zauważono wcześniej, cieki górskie w Polsce odznaczają się zwykle małym udziałem zasilania podziemnego (Jokiel 1994; Wrzeński 2017c), a ich zlewnie posiadają stosunkowo niewielkie zdolności retencyjne, wynikające między innymi z ukształtowania terenu (Radecki–Pawlik i in. 2020). Wydaje się zatem, że geneza wystąpienia wieloletnich zmian przepływów o charakterze okresowych fluktuacji w sezonie o niskich i mało zmiennych przepływach tkwi w wieloletnich

oscylacjach charakterystyk klimatycznych w obrębie tego regionu. Zagadnienie to może stać się podstawą oddzielnych analiz.

W dziesięciu sezonach hydrologicznych zidentyfikowano natomiast istotną dodatnią autokorelację w wektorach jednoimiennych przepływów dobowych. Świadczy ona o istnieniu wieloletnich trendów w ciągach przepływów dobowych w danym sezonie. W prezentowanej pracy poddano ocenie statystyczną istotność wieloletnich tendencji występujących w szeregach przepływów charakterystycznych głównych pierwszego stopnia dla każdego sezonu wyróżniającego się istotną autokorelacją. W tym celu, dla wszystkich takich sezonów wyznaczono niski, średni oraz wysoki przepływ dobowy w każdym roku okresu obserwacji danej rzeki (rys. 63.). W ten sposób, dla wszystkich sezonów o dodatniej autokorelacji jednoimiennych przepływów dobowych otrzymano trzy wieloletnie szeregi przepływów charakterystycznych. Dla każdego z tych szeregów obliczono funkcję wieloletniego trendu i dokonano oceny jej statystycznej istotności.

Ocenę statystycznej istotności trendu w szeregach przepływów dla danego sezonu za każdym razem przeprowadzono w oparciu o medianową odmianę nieparametrycznego testu serii na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Jak wskazano wyżej, test ten może być wykorzystany do weryfikacji statystycznej istotności trendów w stosunkowo małej próbie. Co więcej, tego rodzaju test serii można zastosować nawet wówczas, kiedy rozkład cechy w populacji generalnej odbiega od normalnego (Mitosek 2003).

Dodatnią autokorelacją jednoimiennych przepływów dobowych charakteryzuje się między innymi sezon o bardzo wysokich przepływach i dużej zmienności (3). Wystąpił on w Małej Panwi oraz w Tanwi (por. rys. 62). Obie rzeki reprezentują niwalny średnio wykształcony reżim hydrologiczny (Wrześniński 2013a), jednak odwadniają obszary o odmiennych warunkach fizycznogeograficznych. W obu rzekach sezon ten zidentyfikowano w okresie wiosennych wezbrań roztopowych. W Małej Panwi trwa on krótko i zanotowano go w marcu, natomiast w Tanwi jest on znacznie dłuższy i występuje od lutego aż do początku kwietnia. W przypadku obu rzek zidentyfikowano istotne trendy malejące w obrębie jednoimiennych przepływów dobowych w tym sezonie – w Małej Panwi stwierdzono spadek niskich przepływów, natomiast w Tanwi malały w tym sezonie przepływy średnie i wysokie. Wyniki badań dotyczących zmian reżimu hydrologicznego rzek Polski również wskazują, że Mała Panew należy do tej grupy rzek Polski, która od drugiej połowy lat 70. XX wieku charakteryzuje się sukcesywnym spadkiem odpływu podczas wiosennych wezbrań roztopowych (Wrześniński 2014, 2016).



Rys. 63. Metoda wyznaczania przepływów charakterystycznych głównych pierwszego stopnia w obrębie dni tworzących dany sezon hydrologiczny na przykładzie sezonu 25 w Biebrzy po wodowskaz Burzyn w latach: 1959 (A), 2009 (B) i 2010 (C).

Objaśnienia: Q_d – przepływ dobowy [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $WQ_{25(1959)}$ – wysoki przepływ w sezonie 25 w 1959 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $SQ_{25(1959)}$ – średni przepływ w sezonie 25 w 1959 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $NQ_{25(1959)}$ – niski przepływ w sezonie 25 w 1959 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $WQ_{25(2009)}$ – wysoki przepływ w sezonie 25 w 2009 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $SQ_{25(2009)}$ – średni przepływ w sezonie 25 w 2009 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $NQ_{25(2009)}$ – niski przepływ w sezonie 25 w 2009 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $WQ_{25(2010)}$ – wysoki przepływ w sezonie 25 w 2010 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $SQ_{25(2010)}$ – średni przepływ w sezonie 25 w 2010 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]; $NQ_{25(2010)}$ – niski przepływ w sezonie 25 w 2010 roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

W przypadku Tanwi w latach 1971–1990 również stwierdzono malejącą tendencję w porze wiosennych wezbrań (kwiecień). We wcześniejszych badaniach dotyczących delimitacji sezonów hydrologicznych w wybranych rzekach Polski zauważono, iż spadek przepływów Tanwi w obrębie sezonu wysokich przepływów o dużej zmienności może być związany ze zmianami zasobności poziomów wodonośnych, które są drenowane przez tę rzekę (Stani-

sławczyk, Tomalski 2015). Zasilanie poziomów wodonośnych jest uzależnione od wysokości opadów atmosferycznych oraz temperatury powietrza, która kształtuje z natężenie parowania terenowego. Wyniki analiz przeprowadzonych przez Kożuchowskiego (2000) wskazują, że od połowy lat 50. XX wieku wysokość zimowych opadów atmosferycznych na obszarze południowo-wschodniej Polski malała, ale jednocześnie istotnie rosły temperatury powietrza w tym okresie – szczególnie mocny wzrost zaobserwowano w styczniu oraz marcu.

Kolejny sezon charakteryzujący się dodatnią autokorelacją zidentyfikowano w Bobrze. Wyróżnia się on bardzo wysokimi przepływami o małej zmienności (6). Sezon ten występuje tylko raz w rocznym cyklu przepływów Bobru i obejmuje fazę wiosennych wezbrań roztopowych i mieszanych (marzec–kwiecień). Wymieniony wyżej test serii potwierdził istnienie statystycznie istotnego trendu rosnącego średnich przepływów dobowych w tym sezonie. Występowanie tendencji wzrostowej w przepływach średnich tego sezonu może być związane z lokalizacją kilku sztucznych zbiorników wodnych na Bobrze i jego dopływach (Kasprzak 2010). W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele przykładów na to, iż zbiorniki retencyjne wpływają na obniżenie odpływu w trakcie wezbrań i zmniejszenie ich dynamiki w cyklu rocznym (np. Dynowska 1984; Wiejaczka 2011; Witkowski, Witkowska 2019). Niewykluczone jednak, że odnotowany wzrost przepływów w dolnym oraz środkowym biegu Bobru jest efektem gospodarki wodnej prowadzonej na istniejących zbiornikach, gdyż na skutek zwiększonego dopływu wód zrzucanych ze zbiorników zlokalizowanych na Bobrze i jego dopływach dochodzi niekiedy do powstania dużych wezbrań w dolnym biegu tej rzeki (Kołodziejczyk i in. 2016).

Kolejny sezon wyróżniający się dodatnią autokorelacją jednoimiennych przepływów dobowych odznacza się wysokimi przepływami o dużej zmienności (9). Zidentyfikowano go w: Gwdzie, Inie oraz Wdzie, zatem w rzekach odwadniających obszar Pojezierza Pomorskiego. W dwóch pierwszych rzekach, sezon 9 występuje dwukrotnie w cyklu rocznym i obejmuje dłuższą fazę wezbraniową od stycznia do marca oraz fazę krótszą, w drugiej połowie kwietnia. We Wdzie sezon ten wyróżniono zaś w listopadzie i grudniu. Na podstawie procedury testowej stwierdzono w obrębie sezonu 8 statystycznie istotne, rosnące trendy w obrębie niskich i średnich przepływów Gwdy oraz średnich przepływów Iny. Odmiennym kierunkiem tendencji zmian jednoimiennych przepływów dobowych tego sezonu odznaczała się jednak Wda – w rzece tej trendy malejące zidentyfikowano w szeregach niskich, średnich oraz wysokich przepływów.

Gwda, Wda oraz Ina są przykładami rzek, w których warunki przepływu w znacznym stopniu są przekształcone wskutek działalności człowieka. Na Gwdzie, powyżej badanego

posterunku Ptusza, zlokalizowanych jest osiem elektrowni wodnych (Kubiak–Wójcicka, Kar-
naś 2015). Pomimo, iż nie stwierdzono statystycznie istotnego trendu średnich rocznych prze-
pływów Gwdy poniżej niektórych z tych obiektów (Kubiak–Wójcicka 2010), w układzie se-
zonów sytuacja ta może kształtować się zupełnie inaczej. Wzrost niskich oraz średnich prze-
pływów Gwdy w omawianym sezonie może być związany z gospodarką wodną prowadzoną
w obrębie zbiorników wodnych. Wyniki innych badań potwierdzają również, że w okresie
1975–2000 zaobserwowano, między innymi w Gwdzie, wzrost odpływu w sezonie zimowym
(Wrzesiński 2014).

Intensywna gospodarka wodna jest prowadzona również w zlewni Wdy – i to nie tylko
na samej rzece, ale również na jej największym prawostronnym dopływie uchodzącym powy-
żej analizowanego posterunku wodowskazowego, jakim jest Niechwaszcz (Babiński, Szumiń-
ska 2006). Wody obu rzek są częściowo odprowadzane w celach irygacyjnych na obszary
przyległe. W pierwszej połowie XIX wieku poniżej Jeziora Wdzydze wybudowano kanał
Wdy (Kanał Czarnowodzki), który służy do nawadniania Łąk Królewskich. Ponadto,
na Wdzie zlokalizowana jest elektrownia wodna w Wojtału, która również może mieć wpływ
na przekształcenia dynamiki przepływu tej rzeki.

Przyczyna wystąpienia wieloletniej tendencji zmian średnich przepływów Iny w oma-
wianym sezonie wydaje się trudna do ustalenia. Zlewnia tej rzeki wyróżnia się bowiem wy-
jątkowo wysokim stopniem antropopresji. Z uwagi na fakt, iż ponad 70% obszaru zlewni Iny
jest intensywnie użytkowana rolniczo, znaczna część wód prowadzonych przez tę rzekę
oraz jej dopływy pobierana jest do celów irygacyjnych lub do uzupełniania niedoborów wody
w stawach rybnych (IMGW 2014). Po stronie przychodu, w bilansie zasobów wodnych zlew-
ni Iny należy uwzględnić natomiast duże zrzuty do wód rzecznych z komunalnych oraz wiej-
skich oczyszczalni. Co więcej, sezonowa struktura odpływu Iny może być znacząco modyfi-
kowana przez zlokalizowane na obszarze zlewni małe elektrownie wodne.

Sezon wyróżniający się wysokimi przepływami o przeciętnej zmienności i dodatniej
autokorelacji jednoimiennych przepływów dobowych (11) zidentyfikowano w sześciu rze-
kach badanego zbioru, odwadniających bardzo zróżnicowane regiony fizycznogeograficzne.
Sezon ten występuje w cyklu rocznym przepływów: Bystrzycy, Wełny, Przemszy, Narwi,
Liwca i Wdy. Co ważne, we wszystkich wymienionych rzekach zaobserwowano go w półro-
czu chłodnym. W Narwi oraz we Wdzie sezon ten występuje raz, w pozostałych rzekach po-
jawia się natomiast dwukrotnie w ciągu roku. Wyróżniono go w podobnych okresach roku
hydrologicznego w przypadku: Przemszy i Liwca (styczeń–marzec), a także Wełny i Wdy
(styczeń–maj). Z kolei, w Bystrzycy sezon ten zidentyfikowano relatywnie późno – w marcu

oraz kwietniu, a jego wystąpienia są rozdzielone sezonem o przeciętnych przepływach i przeciętnej zmienności.

W oparciu o test serii potwierdzono istnienie wieloletnich tendencji jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 11 w: Wełnie, Bystrzycy, Przemszy oraz Liwcu. W pierwszej z wymienionych rzek stwierdzono wzrost niskich i średnich przepływów. W Bystrzycy natomiast zidentyfikowano trendy malejące tylko w obrębie niskich przepływów. Fakt ten jest dość zastanawiający, ponieważ w górnym biegu Bystrzycy zlokalizowane są dwa sztuczne zbiorniki wodne – Lubachów oraz Mietków. Drugi z nich odznacza się przy tym największą pojemnością spośród tego rodzaju obiektów na Dolnym Śląsku (Kasprzak 2010). Zbiornik Mietków oddano do użytku w 1986 roku, a jego głównym zadaniem jest funkcja przeciwpowodziowa (Rzętała 2017). Występowanie zbiornika retencyjnego wpływa zazwyczaj na wyrównanie odpływu w cyklu rocznym. Oznacza to, że oddziaływanie sztucznego zbiornika wodnego powoduje redukcję przepływów wysokich oraz wzrost niskich (Wiejaczka 2011). Zbiornik taki zmniejsza zatem dynamikę przepływu w cyklu rocznym. Tu jest inaczej. Przepływy niskie maleją. Zbiornik w Mietkowie ma również funkcję żegludową, a to w tym sensie, że zaopatruje w wodę Odrę w okresie niskich stanów wody, które pojawiają się w sezonie żegludowym. Wygląda więc na to, że przepływy niskie Bystrzycy maleją z uwagi na rosnące „potrzeby żegludowe” Odry.

W Liwcu statystycznie istotne trendy jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 11 wykryto jedynie w obrębie wysokich przepływów. Warto zauważyć, że we wcześniejszych opracowaniach w przypadku tej rzeki stwierdzono zmniejszanie się wysokich przepływów w ostatnich dwóch dekadach ubiegłego wieku (Somorowska, Piętka 2012) oraz sukcesywny spadek przepływu wiosennego w wieloleciu (Piętka 2009). Mniejszy udział odpływu formującego się w fazie wezbrań wiosennych prowadzi zapewne do redukcji przepływów wysokich w rzece.

W przypadku Przemszy w sezonie 11 udokumentowano tendencję wzrostową niskich przepływów, przy jednoczesnym istotnym trendzie malejącym przepływów średnich i wysokich. Warto zwrócić uwagę, że naturalne warunki kształtowania się przepływu Przemszy zostały znacząco zmodyfikowane na skutek postępującej antropopresji (Wody powierzchniowe 2014; Zlewnia Przemszy 2016). Działalność człowieka skutkująca przemianą sezonowej struktury odpływu w zlewni Przemszy jest zauważalna między innymi w: regulacji cieków, budowie sztucznych zbiorników retencyjnych oraz przerzutach wody. Największymi zbiornikami wodnymi zlokalizowanymi na Przemszy są: Dzieckowice, Kuźnica Warężyńska i Przeczycze (Rzętała 2000). Interesującym obiektem jest pierwszy z wymienionych zbiorników –

pełni on głównie funkcję komunalną, natomiast zasilany jest niemal wyłącznie wodami przetrucanymi z Soły oraz Skawy (Rzętała 2008). Można przypuszczać, że istotne wieloletnie tendencje zidentyfikowane w sezonie 11 w Przemszy są konsekwencją gospodarki wodnej prowadzonej w obrębie zlewni. Jednak zidentyfikowanie jej wpływu na cechy i trendy przepływu rzeki w poszczególnych sezonach wymaga analiz przekraczających ramy tego opracowania.

Sezon charakteryzujący się przeciętnymi przepływami o dużej zmienności i dodatniej autokorelacji jednoimiennych przepływów dobowych (16) zidentyfikowano tylko w Redze. Sezon ten występuje jednak aż cztery razy w rocznym cyklu odpływu tej rzeki – w dwóch krótkich sekwencjach na początku listopada i grudnia oraz wiosną (marzec–kwiecień) i jesienią (wrzesień–październik). Sezon 16 jest jedynym sezonem przeciętnych przepływów wyróżnionym w Redzie. Przeprowadzona ocena statystycznej istotności zidentyfikowanych wieloletnich tendencji potwierdziła występowanie rosnącego trendu w obrębie niskich i średnich przepływów w tym sezonie. Warto zwrócić uwagę, że Rega jest rzeką, na której zlokalizowanych jest najwięcej elektrowni wodnych na obszarze Pojezierza Pomorskiego – występuje tutaj łącznie dziesięć hydroelektrowni (Świątek 2017). Powyżej badanego przekroju w Trzebiatowie znajduje się również sztuczny zbiornik wodny (Zbiornik Rejowice), przy którym funkcjonuje jedna z nich. Wieloletnia tendencja wzrostowa niskich i średnich przepływów w obrębie sezonu 16 może być konsekwencją wpływu tego zbiornika na wyrównanie przepływów tej rzeki w cyklu rocznym.

Kolejny sezon wyróżniający się dodatnią autokorelacją jednoimiennych przepływów dobowych charakteryzuje się przeciętnymi przepływami o małej zmienności (20). Sezon ten występuje jedynie w Warcie. Zidentyfikowano go w niej aż pięciokrotnie, przy czym pojawia się we wszystkich porach roku. Sezon 20 zaobserwowano w miesiącach: listopad–grudzień, luty, kwiecień–maj, czerwiec, sierpień–wrzesień. Na podstawie wyniku testu serii potwierdzono istnienie istotnych statystycznie trendów rosnących w niskich oraz średnich przepływach w obrębie sezonu 20. Warta należy do grupy rzek, w których od końca lat 60. ubiegłego wieku notuje się wzrost odpływu nie tylko w listopadzie, ale również zimą i wiosną – od grudnia do marca (Wrzeński 2016). Wyniki wcześniejszych badań dowodzą również, że w dolnym biegu rzeka charakteryzuje się relatywnie małą zmiennością średnich i niskich przepływów rocznych (Wrzeński, Perz 2016). Zauważalna jest tutaj pewna koincydencja pomiędzy zmiennością tych przepływów i stosunkowo dużym udziałem odpływu podziemnego w całkowitym. Analizy dotyczące rozwoju suszy hydrologicznej w górnej części zlewni Warty także wskazują, iż główną rolę w tym procesie odgrywają uwarunkowania hydrogeo-

logiczne zlewni oraz stan zasobów wód podziemnych – dodatkowo jednak istotne znaczenie posiada również gospodarka wodna (Kozek, Tomaszewski 2018). Powyżej badanego wodowskazu w Działoszynie zlokalizowany jest sztuczny zbiornik Poraj, który obecnie pełni głównie funkcję przeciwpowodziową (Szewczyk 2009; Kozek 2018). Funkcjonowanie tego zbiornika przyczynia się zatem do redukcji wysokich przepływów Warty, ale może mieć także wpływ na wzrost niskich oraz średnich przepływów w sezonie 20.

Sezon charakteryzujący się niskimi przepływami o dużej zmienności i dodatniej autokorelacji jednoimiennych przepływów dobowych (23) wyróżniono w Drwęcy i Łupawie. Występuje on w obu rzekach w fazie letnio-jesiennych niżówek i sąsiaduje z sezonem niskich przepływów o małej zmienności. W Drwęcy sezon 23 jest dłuższy niż w Łupawie – w pierwszej z nich pojawia się w lipcu i sierpniu, w drugiej natomiast tylko w lipcu. W oparciu o statystykę testową testu serii potwierdzono istnienie statystycznie istotnego trendu rosnącego w przepływach średnich Łupawy. Rzeka ta bywa niekiedy zaliczana do grupy cieków, które wyróżniają się największą w kraju skalą przekształceń warunków odpływu spowodowaną działalnością człowieka (Wrzesiński 2014). Biorąc pod uwagę ten fakt, można przypuszczać, że zidentyfikowana wieloletnia tendencja zmian przepływów średnich w omawianym sezonie jest konsekwencją prowadzonej gospodarki wodnej w obrębie zlewni Łupawy – a w szczególności lokalizacji wzdłuż środkowego biegu rzeki zespołu kilku elektrowni wodnych (Drwal i in. 2011).

Jak już wspomniano wcześniej, niektóre sezony odznaczające się dodatnią autokorelacją jednoimiennych przepływów dobowych zidentyfikowano w relatywnie dużej liczbie rzek badanej grupy. Mowa tutaj o sezonach: 18, 25 i 27, które wyróżniono odpowiednio w: 12, 13 i 10 rzekach. Wyniki przeprowadzonej weryfikacji statystycznej istotności trendów przepływów w wymienionych wyżej sezonach dla wskazanej liczby rzek przedstawiono w formie tabelarycznej (tab. 5).

Sezon charakteryzujący się przeciętnymi przepływami o przeciętnej zmienności i dodatniej autokorelacji (18) występuje w rzekach odwadniających obszary o zróżnicowanych cechach fizycznogeograficznych, odznaczającymi się także odmiennymi warunkami formowania się odpływu (rys. 62). Sezon ten zidentyfikowano w: czterech rzekach karpackich (Soła, Wisłoka, San, Wisłok), w czterech wyżynnych (Warta, Nida, Kamienna, Wieprz) oraz w czterech nizinnych i pojeziernych (Oława, Prosna, Narew, Brda). Liczba wystąpień sezonu 18 w wymienionych wyżej ciekach jest również zróżnicowana. Sezon ten pojawia się jeden raz w cyklu rocznym przepływów: Soły, Wisłoki oraz Kamiennej. W pierwszej z nich zidentyfikowano go tylko na przełomie marca i kwietnia, w pozostałych występuje w pierw-

szej połowie stycznia. Jednak w większości rzek, sezon 18 pojawia się kilkakrotnie w ciągu roku.

Tabela 5.

Kierunki i statystyczna istotność trendów w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych w wybranych sezonach hydrologicznych w badanej grupie rzek.

| Symbol sezonu (numer) | Wodowskaz | Statystyczna istotność i kierunek trendu w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych w danym sezonie | | |
|--------------------------|---------------------------------|---|----|----|
| | | NQ | SQ | WQ |
| SQ/SZ/TREND (18) | Oława – Oława | ○ | +1 | +1 |
| | Warta – Działoszyn | +1 | -1 | -1 |
| | Prosna – Bogusław | ○ | ○ | ○ |
| | Soła – Oświęcim | ○ | +1 | ○ |
| | Nida – Pińczów | ○ | -1 | -1 |
| | Wisłoka – Mielec | +1 | +1 | -1 |
| | San – Lesko | +1 | ○ | ○ |
| | Wisłok – Tryńcza | +1 | -1 | -1 |
| | Kamienna – Kunów | ○ | -1 | -1 |
| | Wieprz – Krasnystaw | ○ | +1 | -1 |
| | Narew – Suraż | +1 | ○ | ○ |
| | Brda – Tuchola | -1 | -1 | ○ |
| NQ/SZ/TREND (25) | Oława - Oława | +1 | +1 | ○ |
| | Bystrzyca - Jarnaltów | -1 | ○ | -1 |
| | Bóbr - Żagań | -1 | -1 | ○ |
| | Wełna - Prusze | +1 | +1 | ○ |
| | Gwda - Ptusza | +1 | -1 | ○ |
| | Drawa - Drawiny | ○ | ○ | -1 |
| | Ina - Goleniów | +1 | +1 | ○ |
| | Przemsza - Jeleń | +1 | -1 | ○ |
| | Skawa - Wadowice | -1 | -1 | +1 |
| | Pilica - Przedbórz | -1 | -1 | -1 |
| | Biebrza - Burzyn | ○ | ○ | ○ |
| | Wda - Czarna Woda | +1 | -1 | -1 |
| Paręta - Bardy | ○ | ○ | ○ | |
| NQ/MZ/TREND (27) | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | -1 | -1 | -1 |
| | Oława - Oława | +1 | +1 | ○ |
| | Przemsza – Jeleń | +1 | -1 | -1 |
| | Raba – Proszówki | ○ | -1 | -1 |
| | Biała – Koszyce Wielkie | ○ | ○ | ○ |
| | Tanew – Harasiuki | +1 | +1 | ○ |
| | Bzura – Sochaczew | +1 | ○ | ○ |
| | Wieprza – Stary Kraków | +1 | ○ | +1 |
| | Słupia – Słupsk | ○ | +1 | ○ |
| Łupawa – Smóldzino | +1 | +1 | ○ | |

Objaśnienia: +1 – istotny trend rosnący, -1 – istotny trend malejący, ○ - trend nieistotny statystycznie; istotność statystyczna oceniona medianową odmianą testu serii na poziomie $\alpha=0,05$.

Sezon 18 występuje trzy razy w Brdzie, a sześć razy w Warcie i Wisłoku, przy czym najczęściej odznacza się krótkim czasem trwania. Wyjątek pod tym względem stanowią jednak: Wieprz i Brda. W pierwszej z rzek sezon ten zidentyfikowano między innymi od połowy

grudnia do połowy marca oraz od początku lipca do pierwszej dekady września. Występuje on tutaj naprzemiennie z sezonem o podobnej wielkości i dynamice przepływu oraz braku istotnej autokorelacji (17).

W Brdzie natomiast, sezon 18 wyróżnia się najdłuższym czasem trwania: od sierpnia do końca roku hydrologicznego. W ogólności sezon ten zaobserwowano w różnych porach roku, przy czym sąsiaduje on z sezonami o bardzo zróżnicowanych przepływach i ich dynamice wieloletniej. W analizowanym zbiorze rzek nie dostrzeżono natomiast wyraźnych prawidłowości przestrzennych odnośnie lokalizacji i czasu trwania tego sezonu w cyklu rocznym.

Na podstawie wyniku testu serii potwierdzono istnienie istotnych statystycznie trendów w sezonie 18 między innymi w Oławie (tab. 5). W odniesieniu do wielolecia, rzeka ta wyróżnia się statystycznie istotnym wzrostem przepływów średnich i wysokich w obrębie tego sezonu. Warto również zauważyć, że w Oławie zidentyfikowano statystycznie istotne trendy w przepływach jednoimiennych dni składających się na sezony 25 i 27 – w obu przypadkach stwierdzono tendencję wzrostową niskich i średnich przepływów. Jak już wspomniano wcześniej, Oława jest rzeką, której reżim odpływu jest w znacznym stopniu przekształcony wskutek działalności człowieka (patrz. rozdz. 6.1.). Zmiany antropogeniczne wynikają między innymi z licznych prac regulacyjnych w korytach rzeki i jej dopływów (Parzóch, Solarska 2008). Statystycznie istotne trendy w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych w omawianych sezonach mogą być zatem związane z gospodarką wodną.

W Warcie również zidentyfikowano statystycznie istotne tendencje wieloletnich zmian jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 18. Stwierdzono istotny statystycznie wzrost niskich oraz spadek średnich i wysokich przepływów w omawianym sezonie. Wydaje się, że decydujący wpływ na występowanie wieloletnich tendencji w szeregach przepływów Warty w sezonie 18 (podobnie jak w sezonie 20) wywiera lokalizacja sztucznego zbiornika Poraj (Szewczyk 2009; Kozek 2018).

Statystycznie istotne tendencje w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych sezonu 18 w niektórych rzekach karpackich, między innymi w Sole (wzrost średnich przepływów) i w Sanie (wzrost niskich przepływów) są najprawdopodobniej również związane z gospodarką wodną prowadzoną na sztucznych zbiornikach wodnych. Na pierwszej z wymienionych rzek wybudowano bowiem trzy duże zbiorniki zaporowe – Tresna, Porąbka, Czaniec – tworzące Kaskadę Soły (Jaguś 2017). Dwa pierwsze obiekty mają charakter wielozadaniowy, ale wiodącymi funkcjami są jednak: hydroenergetyczna, rekreacyjna oraz przeciwpowodziowa (Rzętała 2017). Tylko zbiornik Czaniec pełni głównie funkcję komunalną (Jaguś

2017). Z kolei, na Sanie zlokalizowany jest największy sztuczny zbiornik wodny w Polsce – Solina (Rzętała 2017). Zbiornik ten razem z Jeziorem Myczkowce tworzy kaskadę hydrotechniczną, której głównymi zadaniami są: produkcja energii, ochrona przeciwpowodziowa, retencjonowanie wody na zaspokojenie potrzeb komunalnych oraz podwyższenie przepływów niżówkowych poniżej zbiornika (Wojtuszevska 2007).

W dwóch pozostałych rzekach karpackich, w których odnotowano występowanie sezonu 18, również zidentyfikowano statystycznie istotne trendy w jednoimiennych przepływach dobowych. W Wisłoce stwierdzono w tym sezonie wzrost niskich i średnich przepływów oraz spadek przepływów wysokich, natomiast w Wisłoku wykryto wzrost niskich przepływów oraz spadek przepływów średnich i wysokich. Wydaje się jednak, że geneza zaobserwowanych wieloletnich tendencji przepływów jest tu inna niż w przypadku Soły i Sanu. Zbiorniki wodne zlokalizowane na Wisłoce (np. Zbiornik Krempna) oraz Wisłoku (np. Zbiornik Rzeszów) są obiektami małej retencji wodnej (Madeyski i in. 2008), dlatego nie wydaje się, aby mogły one mieć wpływ na modyfikację warunków odpływu tych rzek. Wyniki wcześniejszych badań potwierdzają wzrost odpływu w zlewni Wisłoki w wieloleciu, szczególnie widoczny w jej górnej części. W skali wieloletniej zaznacza się również na obszarze zlewni Wisłoki istotny wzrost sum opadów atmosferycznych. Stwierdzono jednak, że czynniki klimatyczne nie odgrywają zasadniczej roli w wieloletnich zmianach wielkości odpływu z tej zlewni, a przyczyn należy upatrywać w działalności człowieka prowadzonej w obrębie zlewni (Soja 1988).

W dwóch rzekach wyżynnych – Nidzie oraz Kamiennej, w sezonie 18 stwierdzono spadek średnich oraz wysokich przepływów. W pierwszej z nich w drugiej połowie ubiegłego wieku wykonano szereg prac melioracyjnych oraz regulacyjnych koryta rzeczne, które miały na celu zmniejszenie ryzyka wystąpienia powodzi (Łajczak 2006; Łupaszek 2013). Być może wieloletnie obniżanie się średnich i wysokich przepływów Nidy jest związane z wyżej wskazaną działalnością. W przypadku Kamiennej, przyczynę spadku tych samych przepływów w wieloleciu należy najprawdopodobniej powiązać z lokalizacją sztucznych zbiorników wodnych. Na Kamiennej (Zalew Bliżyński, Starachowice – Pasternik, Brody Hżeckie) (Fal i in. 1997; Lenar-Matyas i in. 2006) oraz jej dopływach (Wióry; Zbiornik wodny Wióry na Świślinie 2017; Biernat i in. 2011) wybudowano kilka zbiorników retencyjnych, które pełniąc głównie funkcję przeciwpowodziową przyczyniają się do wyrównania przepływu rzeczne w cyklu rocznym.

W Wieprzu w sezonie 18 zidentyfikowano statystycznie istotną tendencję wzrostu średnich oraz spadku wysokich przepływów. W przypadku tej rzeki kierunek wykrytych tren-

dów z pewnością jest związany z oddziaływaniem Zbiornika Nielisz. Wywołuje on wyrównywanie przepływu Wieprza poniżej zapory (Mazur 2013). Wyniki badań innych Autorów wskazują, że Zbiornik Nielisz ma największy wpływ na kształtowanie niskich przepływów (Raczyński 2018). Przepływy niżówkowe na odcinku Wieprza poniżej tego zbiornika praktycznie zaniknęły. Warto nadmienić, że jest to bardzo dobrze widoczne w układzie wszystkich sezonów wyróżnionych w tej rzece. Jak już wcześniej wspomniano, na średnim rocznym hydrogramie przepływu Wieprza występują jedynie sezony charakteryzujące się bardzo wysokimi (1) albo przeciętnymi przepływami (17 i 18), brak jest natomiast sezonów o niskich przepływach (por. rys. 62).

W Narwi, w sezonie 18, wykryto statystycznie istotny trend rosnący niskich przepływów (tab. 5). Ich wzrost jest w przypadku tej rzeki efektem oddziaływania Zbiornika Siemianówka (Marcinkowski, Grygoruk 2017). Wcześniejsze badania potwierdziły bowiem istotny wpływ tego zbiornika na przepływy ekstremalne Narwi – wzrost w szeregach przepływów niskich oraz spadek w wysokich. Powstanie Zbiornika Siemianówka znacząco zredukowało również liczbę oraz czas trwania powodzi na Narwi.

Brdza jest także rzeką, w której zidentyfikowano statystycznie istotne tendencje zmian jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 18. Wykryte trendy świadczą o wieloletnim spadku niskich i średnich przepływów. Obniżanie tych przepływów w skali wielolecia może wydawać się dość zaskakujące z uwagi na fakt, że na Brdzie zlokalizowany jest najstarszy w Polsce sztuczny zbiornik wodny – Zbiornik Mylof oddany do użytku w 1848 roku (Mikulski 2002). Warto jednak zauważyć, że znaczna część wód zgromadzonych w tym zbiorniku jest przekierowywana do Wielkiego Kanału Brdy (Habel 2013). Obecnie woda ta jest wykorzystywana głównie w celach zasilania stawów rybnych oraz do produkcji energii. Nie jest zatem wykluczone, że wieloletni spadek niskich i średnich przepływów w sezonie 18 w Brdzie jest spowodowany działalnością człowieka. Zagadnienie to wymaga jednak przeprowadzenia bardziej szczegółowych badań.

Sezon odznaczający się niskimi przepływami o przeciętnej zmienności i dodatniej autokorelacji w wektorach jednoimiennych przepływów dobowych (25) również zidentyfikowano w wielu rzekach zróżnicowanych pod względem warunków fizycznogeograficznych ich zlewni (rys. 62). Należy jednak zwrócić uwagę, że większość z nich płynie w zachodniej części Polski i należy do dorzecza Odry (Oława, Bystrzyca, Bóbr, Welna, Gwda, Drawa, Ina). Sezon 25 pojawia się w przeciętnym cyklu rocznym przepływu raz (Oława, Drawa, Ina, Biebrza, Wda) lub dwa razy (Bystrzyca, Bóbr, Welna, Gwda, Skawa, Parsęta). Wyjątkami w tej grupie są Przemsza oraz Pilica, w których omawiany sezon zaobserwowano odpowiednio

cztero- lub pięciokrotnie w roku hydrologicznym. Sezon ten występuje w części rzek zarówno w chłodnym, jak i w ciepłym półroczu, obejmując fazę jesienno-zimowych oraz letnio-jesiennych przepływów niskich (Bystrzyca, Bóbr, Wełna, Gwda, Przemsza, Skawa, Pilica, Parsęta). W niektórych rzekach sezon 25 zaobserwowano jednak tylko w drugiej połowie roku hydrologicznego (Oława, Drawa, Ina, Biebrza, Wda). Czas trwania tego sezonu w poszczególnych rzekach jest zróżnicowany, a w niektórych występuje w relatywnie krótkich sekwencjach (np. w Przemszy i Skawie). Najdłuższy czas trwania tego sezonu wyróżnia rzeki pojezierne – Gwdę, Drawę, Inę i Wdę, w których rozpoczyna się w maju, a kończy w październiku.

W dwóch rzekach odwadniających Dolny Śląsk zidentyfikowano wieloletnie, statystycznie istotne trendy malejące w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 25 (tab. 5). Wyniki przeprowadzonego testu serii potwierdzają spadek niskich i wysokich przepływów w Bystrzycy oraz średnich i wysokich przepływów w Bobrze. Warto przypomnieć, że w pierwszej z wymienionych rzek stwierdzono również obniżanie się niskich przepływów w sezonie 11. Przyczyna pogłębiania się odpływów niżówkowych w Bystrzycy i Bobrze w skali wielolecia pozostaje dla autorki niejasna. Na obu rzekach funkcjonuje bowiem kilka sztucznych zbiorników wodnych, które zazwyczaj wpływają na wzrost (nie na spadek) niskich przepływów (Kasprzak 2010; Wiejaczka 2011). W Wełnie, w sezonie 25, stwierdzono natomiast wzrost niskich i średnich przepływów. Podobne tendencje zidentyfikowano w tej rzece w sezonie 11. Geneza tego wzrostu niskich i średnich przepływów Wełny we wspomnianych sezonach nie jest autorce znana.

Istnienie statystycznie istotnych wieloletnich trendów w jednoimiennych przepływach dobowych w sezonie 25 potwierdzono też dla kilku rzek odwadniających zachodnią część Pojezierza Pomorskiego. Trendy zmian przepływów w omawianym sezonie zidentyfikowano w przypadku: Gwdy (wzrost niskich a spadek średnich przepływów), Drawy (spadek wysokich przepływów) oraz Iny (wzrost niskich i średnich przepływów). Rzeki te wyróżniają się znacznymi zmianami reżimu odpływu na skutek postępującej antropopresji (Wrzeński 2014). Przyczyna wystąpienia istotnych wieloletnich trendów w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 25 (podobnie jak w sezonie 9 wyodrębnionym w Gwdzie oraz Inie) jest najprawdopodobniej związana z działalnością człowieka, a w głównej mierze z gospodarką wodną prowadzoną na istniejących sztucznych zbiornikach wodnych (IMGW 2014; Kubiak–Wójcicka 2010; Kubiak–Wójcicka, Karnaś 2015).

Bardzo wysokim stopniem antropopresji wyróżnia się również wspomniana wcześniej Przemsza (Wrzeński 2014; Zlewnia Przemszy 2016). W rzece tej zidentyfikowano istotną

tendencję wzrostu niskich oraz spadku średnich przepływów w obrębie sezonu 25. Co więcej, w sezonie 27 również wykryto statystycznie istotne trendy w obrębie jednoimiennych przepływów dobowych – w skali wielolecia stwierdzono wzrost niskich oraz spadek średnich i wysokich przepływów (podobnie jak w omówionym wcześniej sezonie 11). W przypadku Przemśy charakter i kierunek wieloletnich zmian przepływu w wymienionych sezonach niemal jednoznacznie wskazuje, że ich przyczyn należy upatrywać w działalności człowieka, polegającej między innymi w przerzutach wody oraz budowie zbiorników wodnych (Wody powierzchniowe 2014; Rzętała 2008, 2017).

Interesującym przypadkiem w zbiorze rzek, dla których zidentyfikowano istotne trendy jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 25 jest Skawa. W rzece tej wykryto w tym sezonie istotny spadek przepływów niskich i średnich oraz wzrost przepływów wysokich. Wśród cieków karpackich, Skawę można uznać za rzekę o quasi-naturalnym reżimie przepływu oraz niewielkim wpływie działalności człowieka na zmiany obiegu wody w obrębie jej zlewni (Soja 2002). Co więcej kierunek zidentyfikowanych tendencji przepływów w sezonie 25 jest odwrotny do wyników wcześniejszych badań przeprowadzonych przez innych Autorów (np. Soja 2002; Wiejaczka 2011). Wskazują one bowiem na, podkreślany wielokrotnie, wzrost minimalnych oraz spadek maksymalnych przepływów rzek karpackich w skali wielolecia. Przyczyny odwrotnej sytuacji w przypadku Skawy można prawdopodobnie upatrywać w braku większych zbiorników retencyjnych zlokalizowanych na rzece, które wpływałyby na wyrównanie odpływu w cyklu rocznym. Zbiornik wodny Świnna Poręba (Jezioro Mucharskie) został oddany do użytku stosunkowo niedawno, dlatego nie można w prezentowanym opracowaniu ocenić wpływu oddziaływania tego obiektu na modyfikację reżimu przepływu Skawy. Budowa tego zbiornika trwała blisko trzy dekady, dlatego jest on uznawany za jedną z najdłużej wykonywanych inwestycji wodno-gospodarczych na obszarze kraju. Głównymi zadaniami zbiornika są: zaopatrywanie w wodę aglomeracji katowickiej, ochrona przeciwpowodziowa oraz produkcja energii (Kokoszka, Zawisza 2008; Pawałka i in. 2009; Maślanka, Kostuch 2015).

Bardzo interesującym obiektem w grupie rzek, które charakteryzują się występowaniem wieloletnich istotnych tendencji zmian jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 25 jest również Pilica. Dla rzeki tej zidentyfikowano bowiem spadek niskich, średnich oraz wysokich przepływów w obrębie omawianego sezonu. Zaznaczający się w Pilicy spadek przepływów niskich zdaje się aktualnie odbiegać od wyników przeprowadzonych wcześniej badań (Bartnik, Jokieli 2015). Analizy te wskazywały bowiem, że w skali wielolecia wzrastał poziom bezwładności dobowych przepływów Pilicy. Jednocześnie, zauważalny był przy tym

spadek rocznej dyspersji tych przepływów. Oznacza to, że w skali wielolecia następował wzrost retencyjności tej zlewni. Wzrost ten powinien zatem skutkować podwyższeniem odpływów niżówkowych. Wyniki omawianych badań wskazują jednak także, że w wieloleciu wzrastał jednocześnie łączny czas trwania niżówek w Pilicy. Wzrost ten jest szczególnie widoczny od drugiej połowy lat 70. XX wieku. Zauważalne są zatem dość wyraźne, długookresowe zmiany zachodzące w sezonowej strukturze odpływu Pilicy.

Statystycznie istotne trendy jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 25 zidentyfikowano także we Wdzie. W rzece tej potwierdzono wzrost niskich oraz spadek średnich i wysokich przepływów w omawianym sezonie. Wieloletnie tendencje zmian przepływów Wdy są najprawdopodobniej związane z gospodarką wodną prowadzoną w obrębie zlewni rzeki. Warto przypomnieć, że we Wdzie wyróżniono tylko trzy sezony hydrologiczne i we wszystkich z nich wykryto statystycznie istotne trendy jednoimiennych przepływów dobowych. Jak już podkreślano wcześniej, reżim przepływów Wdy jest w znacznym stopniu przekształcony wskutek działalności człowieka, przy czym największe przeobrażenia środowiska i stosunków wodnych występują między jeziorem Wdzydze a badanym przekrojem Czarna Woda (Szumińska, Habel 2005; Szumińska 2014).

Ostatni sezon odznaczający się dodatnią autokorelacją jednoimiennych przepływów dobowych charakteryzuje się niskimi przepływami o małej zmienności (27). Podobnie jak dwa poprzednie sezony (18 i 25) występuje on w rzekach przepływających w różnych regionach Polski. Liczba wystąpień sezonu 27 na średnim rocznym hydrogramie przepływu poszczególnych rzek jest także zróżnicowana. Sezon ten zidentyfikowano w niektórych ciekach tylko raz w roku hydrologicznym (Wieprza, Słupia). Jednocześnie w karpackiej Rابية ma on nawet sześć wystąpień w ciągu roku. W części rzek sezon niskich przepływów o małej zmienności oraz dodatniej autokorelacji występuje w krótkich sekwencjach w fazie jesienno-zimowych niskich przepływów (Mała Panew, Oława, Raba, Przemsza, Biała, Tanew). W rzekach pojeziernych (Wieprza, Słupia, Łupawa) oraz w Bzurze sezon ten zidentyfikowano tylko w ciepłym półroczu.

Statystycznie istotne trendy jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 27 wykryto także w Małej Panwi (tab. 5). W rzece tej stwierdzono spadek niskich, średnich oraz wysokich przepływów w obrębie tego sezonu. Przyczyna pogłębiania się niżówek w skali wielolecia w Małej Panwi nie jest dla autorki jasna. Wydaje się jednak, że z uwagi na brak przejawów wzmożonej antropopresji na obszarze zlewni, geneza tego zjawiska może być związana ze zmianami zachodzącymi w szeregach zmiennych klimatycznych.

W przypadku Raby zidentyfikowano istotne statystycznie obniżanie się przepływów średnich i wysokich w obrębie dni w sezonie 27. Spadek wielkości tych przepływów w Rabie jest prawdopodobnie spowodowany gospodarką wodną prowadzoną na zbiorniku zaporowym w Dobczycach. Główną funkcją tego zbiornika jest bowiem: ochrona przeciwpowodziowa obszarów położonych poniżej zapory, zaopatrzeniowa oraz energetyczna (Starmach, Mazurkiewicz–Boroń 2000; Rzętała 2017).

Kolejną rzeką, która charakteryzuje się statystycznie istotną tendencją zmian jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 27 jest Bzura. Rzeka ta wyróżnia się jednak wzrostem tylko niskich przepływów w tym sezonie. Na podstawie wcześniejszych badań ustalono (Stanisławczyk, Tomalski 2017), że przyczyną podnoszenia się przepływów niskich Bzury jest prawdopodobnie rozwój kanalizacji sanitarnej na obszarze jej zlewni. Wody odprowadzane z miejskich oczyszczalni ścieków (np. Ozorkowa, Sochaczewa, Kutna) tworzą stabilną formę odpływu antropogenicznego. Ilość ścieków odprowadzanych do Bzury sukcesywnie zwiększa się na przestrzeni ostatnich lat, a największy wzrost notuje się w powiatach: łączyckim oraz kutnowskim (Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim 2015).

Wieloletnie trendy w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 27 wykryto również w trzech rzekach pojeziernych – Wieprzy, Słupi oraz Łupawie. W pierwszej z nich zidentyfikowano wzrost w obrębie niskich i wysokich przepływów. Z kolei, w Słupi w skali wielolecia istotnie wzrastały tylko przepływy średnie, natomiast w Łupawie rosły przepływy niskie i średnie. Wszystkie wymienione rzeki odwadniają obszary o podobnych warunkach fizycznogeograficznych i znacznej zasobności wodnej (Jokiel 1994; Wrzesiński 2017c). Zidentyfikowane trendy rosnące przepływów w sezonie 27 w Wieprzy, Słupi i Łupawie prawdopodobnie związane są jednak z gospodarką wodną prowadzoną w obrębie ich zlewni. Na rzekach tych wybudowano bowiem łącznie piętnaście hydroelektrowni, które w znaczący sposób mogą wpływać na zmiany stosunków wodnych w obrębie ich zlewni (Rachon 2002; Drwal i in. 2011; Jarosiewicz, Obolewski 2013; Elektrownie wodne rzek Pomorza Środkowego).

Kolejną rzeką, w której zidentyfikowano statystycznie istotne trendy jednoimiennych przepływów dobowych w sezonie 27 jest Tanew. W rzece tej wykryto wzrost niskich i średnich przepływów w omawianym sezonie. Geneza wzrostu przepływów niskich w sezonie 27 jest autorce nieznana. Można przypuszczać, biorąc pod uwagę brak przejawów wzmożonej działalności człowieka i niski stopień antropopresji w zlewni Tanwi, że wzrost ten może się wiązać ze zmianami sezonowej struktury bilansu wodnego zlewni, polegającymi na sezonowym wzroście opadów lub/i spadku parowania terenowego.

Zróznicowane kierunki i siła trendów w przepływach charakterystycznych poszczególnych sezonów hydrologicznych badanego zbioru rzek wskazuje, że procesy zmian przepływów w cyklu rocznym analizowane w skali wielolecia mają bardzo złożony charakter i nie jest łatwo je opisać za pomocą prostych zdarzeń przyczynowo-skutkowych. Także identyfikowane w toku analiz trendy i fluktuacje nie zawsze są jasne i jednoznacznie zdeterminowane. Zatem wykrycie jakichkolwiek tendencji czy statystycznych prawidłowości w szeregach czasowych przepływów winno być raczej początkiem dalszych analiz, nie zaś ich zwieńczeniem (Jokiel 2015).

7. Podsumowanie.

W poniższym podsumowaniu przedstawiono najważniejsze i najistotniejsze wnioski sformułowane na podstawie analiz przeprowadzonych w poprzednich rozdziałach. Dotyczą one głównie zidentyfikowanych cech oraz autorskiej oceny dostrzeżonych w pracy zmian i zmienności sezonowej dynamiki przepływu badanych rzek Polski w przekroju wieloletnim. Biorąc pod uwagę fakt, że zbadana próbka rzek była liczna (40) oraz to, że reprezentowała możliwie pełne zestawienie warunków fizycznogeograficznych i hydrologicznych występujących w Polsce, zaprezentowane poniżej wnioski, z konieczną w takim przypadku ostrożnością, można odnieść do całego terytorium kraju. Niektóre sugestie i uwagi autorki dotyczą również zagadnień metodycznych. Choć w pracy nie zaprezentowano żadnej nowej metody oceny sezonowości, czy też autorskiej procedury identyfikacji sezonów hydrologicznych, to jednak zakres i wyniki przeprowadzonych badań dowiodły przydatności większości zastosowanych metod, i co ważne, wskazały oraz udokumentowały różne aspekty sezonowej dynamiki przepływu rzek Polski w przekroju wieloletnim.

- Ogromna większość statystycznie istotnych trendów wykrytych w szeregach niskich przepływów miesięcznych zanotowanych w 40 badanych przekrojach rzecznych wskazuje na wzrost tych przepływów w wieloleciu. Najwięcej istotnych tendencji rosnących zarejestrowano w szeregach minimów: marca, lutego, maja, czerwca i stycznia. W układzie regionalnym, największą liczbę takich trendów stwierdzono w rzekach odwadniających: północno-zachodnią (Pobrzeża, Pojezierze Pomorskie), południowo-wschodnią (Karpaty i Podkarpacie) oraz północno-wschodnią (Nizina Północnopodlaska) część Polski.

W przypadku niektórych rzek z badanego zbioru, przyczyn wzrostu miesięcznych minimumów przepływów można prawdopodobnie upatrywać w działalności człowieka – a konkretnie w funkcjonowaniu sztucznych zbiorników wodnych (np. San, Narew).

- W szeregach średnich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek Polski również większość statystycznie istotnych tendencji świadczy o wieloletnim wzroście tych przepływów. Najwięcej istotnych trendów dodatnich zidentyfikowano w: marcu, styczniu i lutym. Analogicznie jak w przypadku przepływów niskich, również w szeregach przepływów średnich, najwięcej tendencji rosnących wykryto w rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie (szczególnie w marcu i czerwcu). Stosunkowo dużą liczbę istotnych trendów rosnących w szeregach średnich przepływów miesięcznych odnotowano w rzekach płynących w południowo-wschodniej części Polski (Beskidy, Wyżyna Lubelska). Wykryto je tam w szeregach: stycznia, września oraz października.
- W szeregach wysokich przepływów miesięcznych, odnotowanych w przekrojach wodowskazowych badanej grupy rzek, liczba istotnych statystycznie trendów malejących jest nieznacznie większa od liczby trendów rosnących. Najwięcej istotnych tendencji rosnących zidentyfikowano w szeregach maksimumów marca, września oraz stycznia. W marcu najwięcej trendów rosnących maksimumów przepływów zaobserwowano w rzekach odwadniających Pojezierze Pomorskie, a trendy wrześniowe dominowały w rzekach w południowej Polsce (głównie karpackich).
- Analizując liczbę oraz kierunek statystycznie istotnych trendów w szeregach niskich, średnich i wysokich przepływów miesięcznych, w badanej grupie rzek dostrzeżono pewne prawidłowości, które mogą świadczyć o systematycznym osłabianiu „kontynentalnych” cech ich reżimu hydrologicznego. We wszystkich trzech grupach przepływów charakterystycznych, w półroczu chłodnym stwierdzono znacznie większą liczbę statystycznie istotnych trendów rosnących niż trendów malejących. Pomimo, że w półroczu ciepłym dominują wieloletnie tendencje rosnące, jednak charakterystyczny dla tego półrocza jest również większy udział (procentowy) trendów malejących niż w półroczu chłodnym.
- Przestrzenne rozmieszczenie pierwszych współczynników autokorelacji średnich przepływów miesięcznych pozwala dostrzec dość wyraźne podobieństwo regionalne. „Najślabszą pamięcią krótkookresową” o średnich przepływach miesięcznych odznaczają się rzeki odwadniające południową część Polski, a szczególne ciekły górskie o reżimie niwalno–pluwialnym lub pluwialno–niwalnym (Sudety i Przedgórze Sudeckie, Karpaty i Podkarpacie). Niezbyt silna inercja średnich przepływów rzek górskich związana jest z ma-

łymi zdolnościami retencyjnymi zlewni tych cieków oraz drenowaniem przez nie relatywnie mało zasobnych poziomów wodonośnych. Najsilniejszą inercją krótkookresową średnich miesięcznych przepływów wyróżniają się natomiast rzeki płynące w północno-zachodniej części Polski. Relatywnie duża bezwładność średnich przepływów miesięcznych cieków pojeziernych i przymorskich jest konsekwencją dogodnych warunków hydrogeologicznych ich zlewni oraz występowania licznych jezior przepływowych oraz zagłębień bezodpływowych.

- Próbę oceny typów bezwładnościowych rzek i zlewni należy uznać za udaną, chociaż w rozmieszczeniu rzek wyróżniających się określonym typem bezwładności średnich miesięcznych przepływów nie dostrzeżono wyraźnego porządku przestrzennego. Na uwagę zasługuje fakt, że do określonego typu bezwładnościowego zaliczono zlewnie charakteryzujące się różnymi warunkami formowania się odpływu (np. typy E i G; por. rozdz. 5.1.3.). Co więcej, liczebność poszczególnych typów jest zróżnicowana – w wydzielonych grupach znajduje się od 1 do 10 rzek, a jeden wyodrębniony typ inercji średnich przepływów miesięcznych nie jest reprezentowany przez żadną z rzek badanego zbioru. Wydaje się zatem, że aby ocenić wpływ warunków hydrologicznych i fizyczno-geograficznych zlewni na typ bezwładnościowy rzeki, konieczne są badania na dużej próbie małych rzek o względnie jednorodnych warunkach formowania się przepływu.
- Względnie wczesnymi średnimi terminami połowy odpływu TPO_{sr} w wieloleciu odznaczały się rzeki nizinne i pojezierne. Większość rzek pojeziernych cechowała się również najmniejszym poziomem sezonowości przepływu wyrażonym średnim wieloletnim indeksem sezonowości IS_{sr} oraz najbardziej wyrównanym przepływem w cyklu rocznym, mierzonym wielkością średniego wskaźnika koncentracji odpływu GMO_{sr} (Łupawa, Słupia, Brda, Wda, Drawa, Wieprza, Gwda, Parsęta, Pisa). Rzeki odwadniające Pojezierze Pomorskie (poza Gwdą) wyróżniały się również stosunkowo wczesnymi terminami pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}).
- Rzeki górskie, a szczególnie cieki karpackie, wyróżniały się najpóźniejszymi TPO_{sr} w wieloleciu. Charakteryzowały się one jednocześnie najbardziej skoncentrowanym przepływem w cyklu rocznym, ocenianym na podstawie wartości GMO_{sr} . Większość rzek górskich odznaczała się również stosunkowo dużą sezonowością przepływu w wieloleciu, mierzoną wielkością IS_{sr} , oraz relatywnie późnym terminem pory koncentracji odpływu WPK_{sr} .

- Na podstawie rozkładu wielkości wybranych miar sezonowości odpływu należy zauważyć, że sezonowa struktura odpływu w badanych zlewniach ulegała dość znacznym zmianom w wieloleciu. Największe zmiany sezonowego rozmieszczenia odpływu, mierzone amplitudą *TPO* w poszczególnych latach, zaobserwowano od początku lat 70. do połowy lat 80. XX wieku. Największą zmiennością *TPO* w badanej grupie zlewni charakteryzowały się lata: 1981, 1975, 1980, 1981, 1989, 2001. Najmniejszy rozstęp *TPO* stwierdzono natomiast w 2000 roku (43 dni) oraz w latach: 1962, 1963, 1965, 1979, 1983, 1992, 1993, 1994, 2005.
- Największą zmiennością *GMO* w badanym zbiorze rzek Polski charakteryzowała się pierwsza połowa lat 60. XX wieku oraz ostatnia dekada rozpatrywanego wielolecia. Zdecydowanie największym zróżnicowaniem *GMO* wyróżniały się lata 1964 i 1963. Mała zmienność poziomu koncentracji odpływu cechowała natomiast dekadę lat 70. (wyłączając 1979 rok) oraz lata 80. ubiegłego wieku. Najmniejsze zróżnicowanie *GMO* zaobserwowano w latach: 1971, 1978, 1981, 1982, 1984, 1990, 1998, 1999.
- Cały zbiór analizowanych zlewni najbardziej wyrównanym odpływem cechował się w 1972 roku, a największą sezonowością w 1994 roku. Biorąc pod uwagę amplitudę *IS* w badanej grupie zlewni w poszczególnych latach wielolecia, najbardziej zróżnicowaną sezonowość odpływu zaobserwowano w pierwszej połowie lat 60. XX wieku. Największe zróżnicowanie stopnia sezonowości odpływu w zbiorze badanych zlewni zanotowano w latach: 1964, 2002, 1970, 1994, 1987. Najmniejsza zmienność sezonowości odpływu w całej grupie wystąpiła natomiast w latach: 1973–1978, 1980–1982 oraz 1990–1992.
- Termin pory koncentracji odpływu był również charakterystyką bardzo zmienną w skali wielolecia w badanym zbiorze rzek Polski. Największe zróżnicowanie *WPK* zaobserwowano w latach: 1978, 1974, 1963, 1993, 1972 oraz 2001. Najmniejszą zmiennością *WPK* charakteryzowały się natomiast lata: 2000, 1994, 1992.
- W skali Polski nie stwierdzono statystycznie istotnych trendów w szeregach czasowych wybranych charakterystyk sezonowości odpływu. Niemniej jednak, w wieloletnich ciągach analizowanych miar sezonowości odpływu zidentyfikowano istotne tendencje dla niektórych zlewni z badanej grupy. W wieloletnich szeregach *TPO* wykryto trzy trendy malejące (Bóbr, Soła, Biebrza) oraz jeden rosnący (Wda). W ciągach *WPK* również zidentyfikowano cztery statystycznie istotne wieloletnie tendencje zmian – jedna z nich świadczyła o coraz wcześniejszym występowaniu terminu pory koncentracji odpływu w skali wielolecia (Biebrza), natomiast pozostałe trzy trendy były rosnące (Wda, Rega,

Słupia). Większą liczbę istotnych tendencji stwierdzono w wieloletnich szeregach *GMO* i *IS* (odpowiednio: 12 i 8). W dziewięciu rzekach stwierdzono stopniowe wyrównywanie się przepływów w wieloleciu – spadek indeksu sezonowości (Wisłoka, Wisłok, Tanew, Wieprz, Narew, Pisa, Liwiec, Wda), natomiast w trzech zidentyfikowano trend rosnący w wieloletnich szeregach *GMO* (Mała Panew, Raba i Parsęta). W przypadku wieloletnich szeregów *IS* połowa statystycznie istotnych tendencji była rosnąca (Mała Panew, Bóbr, Warta, Raba). Pozostałe trendy wskazują natomiast na stopniowy spadek sezonowości przepływu (Oława, Wisłok, Wieprz, Wda).

- Wyniki korelacyjnych związków przestrzennych w szeregach wszystkich analizowanych miar sezonowości przepływu wskazują, że najsilniejszą, synchroniczną współzależnością badanych charakterystyk odznaczają się rzeki odwadniające te same bądź sąsiadujące ze sobą regiony fizycznogeograficzne. Jeżeli występuje statystycznie istotna, odwrotnie proporcjonalna współzależność w szeregach miar sezonowości odpływu to najczęściej dotyczy ona zlewni charakteryzujących się skrajnie odmiennymi warunkami formowania się odpływu (np. zlewnie rzek pojeziernych i górskich).
- Potwierdzono istotną czasową zbieżność zmian pomiędzy szeregami czasowymi *IS* i *GMO* oraz *TPO* i *WPK* w badanej grupie rzek Polski. Najsilniejszy związek korelacyjny zanotowano między indeksem sezonowości Markhama (*IS*) i wskaźnikiem koncentracji odpływu Oliviera (*GMO*). Najstabszą czasową współzależnością wyróżniają się natomiast szeregi *IS* i *TPO*.
- Na podstawie średnich wieloletnich wartości wskaźników *IS* i *TPO* wyróżniono dziewięć różnych typów sezonowości przepływu rzek Polski. W badanej grupie rzek stwierdzono występowanie wszystkich wyszczególnionych typów sezonowości przepływu. Zauważono przy tym pewien porządek przestrzenny w rozmieszczeniu cieków należących do danego typu sezonowej struktury przepływu. Dla przykładu: rzeki należące do typu B i C odwadniają tylko obszary górskie, a ciek włączony do typu I przepływa przez obszary nizinne.
- W badanym zbiorze rzek Polski wydzielono 29 różnych sezonów hydrologicznych. Warto zwrócić szczególną uwagę, że znaczna część z nich występuje tylko w jednej (6 sezonów) bądź dwóch rzekach (7 sezonów) analizowanej grupy. Może to świadczyć o tym, że zastosowana metoda delimitacji sezonów hydrologicznych pozwala uchwycić indywidualne cechy sezonowej struktury przepływu oraz warunków jego formowania w przypadku danej rzeki lub regionu, który ona odwadnia. Jednocześnie, duża liczba wydzielo-

nych sezonów hydrologicznych odróżnia się statystycznie istotną autokorelacją jedniennych przepływów dobowych. Wskazuje ona na występowanie w tych sezonach zmian przepływów o charakterze wieloletniego trendu (autokorelacja dodatnia) lub rytmu innego niż jeden rok (autokorelacja ujemna).

- Najmniejszym stopniem rozczłonkowania rocznego hydrogramu przepływu odznacza się większość cieków odwadniających obszary pojezierne (m. in.: Wda, Drwęca, Słupia, Drawa, Pisa, Wełna, Ina, Brda, Parsęta). Relatywnie największą średnią liczbą wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego w ciągu roku charakteryzują się natomiast rzeki górskie (Raba, Wisłok, Biała, Wisłoka, Nysa Kłodzka, Soła, San, Skawa), a także część wyżynnych (Warta, Pilica, Nida, Tanew). Wydaje się zatem, że największy wpływ na średnią liczbę wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego w ciągu roku w danej rzece wywierają zdolności retencyjne jej zlewni.
- Czas trwania sezonów hydrologicznych jest bardzo zróżnicowany. Najkrótsze sezony, obejmujące zgodnie z przyjętą procedurą delimitacyjną minimum dziesięć kolejnych dni, zanotowano w badanej grupie rzek wielokrotnie i pojawiają się one w różnych fazach odpływu. Najdłuższe wyodrębnione sezony hydrologiczne obejmują natomiast 172 dni. Sezony te występują w dwóch rzekach badanego zbioru – w Łynie (sezon 26) oraz w Wdzie (sezon 25).
- W układzie wyodrębnionych sezonów hydrologicznych we wszystkich rzekach badanej grupy wyraźnie zaznaczają się sezony bardzo wysokich i wysokich przepływów. Cieki w analizowanym zbiorze są jednak bardzo zróżnicowane pod względem terminu wystąpienia oraz czasu trwania tych sezonów. W rozmieszczeniu sezonów hydrologicznych o bardzo wysokich lub wysokich przepływach można dostrzec pewne podobieństwa w rzekach reprezentujących dany typ reżimu wodnego. Dla przykładu, relatywnie długie sezony o wysokich przepływach najwcześniej występują w rzekach pojeziernych (Brda, Wda) i przymorskich (Wieprza, Słupia, Łupawa) płynących w północno-zachodniej części Polski. Cieki te odznaczają się niwalnym słabo wykształconym reżimem hydrologicznym. Względnie długie sezony o bardzo wysokich i wysokich przepływach zaobserwowano także w pozostałych rzekach odwadniających obszar Przymorza i Pojezierzy, wyróżniających się reżimem niwalnym średnio wykształconym – sezony te wyróżnia jednak późniejszy termin ich rozpoczęcia w roku hydrologicznym.
- W przypadku znacznej części cieków o niwalno-pluwialnym reżimie hydrologicznym układ sezonów o bardzo wysokich i wysokich przepływach również wydaje się dość do-

brze ilustrować typowe dla nich fazy występowania wiosennych wezbrań roztopowych oraz letnich wezbrań opadowych. Najpóźniejszym terminem rozpoczęcia sezonów o bardzo wysokich przepływach odznaczają się dwie rzeki górskie o pluwialno-niwalnym reżimie hydrologicznym (Nysa Kłodzka, Soła).

- Przestrzenne prawidłowości w rozmieszczeniu oraz czasie trwania sezonów o niskich oraz przeciętnych przepływach w badanej grupie rzek są zdecydowanie mniej wyraźne niż w przypadku układu sezonów charakteryzującymi się bardzo wysokimi i wysokimi przepływami. Szczególnie duże zróżnicowanie można zauważyć w odniesieniu do długości sezonów o niskich przepływach. Zidentyfikowane w badanym zbiorze rzek sezony niskich przepływów liczą bowiem od 10 do ponad 150 dni (maksimum – 172 dni). Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można zatem przypuszczać, że decydujący wpływ na układ sezonów hydrologicznych odznaczających się niskimi i średnimi przepływami – ich rozmieszczenie, datę rozpoczęcia oraz czas trwania – posiadają indywidualne warunki kształtowania się odpływu na obszarze zlewni danej rzeki.
- W ocenie autorki, zastosowana metoda delimitacji sezonów hydrologicznych przynosi zadowalające wyniki służące rozpoznaniu sezonowej struktury przepływu rzek Polski. Metoda ta pozwala nie tylko na uchwycenie regionalnych podobieństw w wielkości i dynamice przepływu rzeki w rocznym cyklu. Umożliwia ona także wskazanie indywidualnych i charakterystycznych cech sezonowej struktury oraz dynamiki przepływu, które mogą występować tylko w jednej lub w relatywnie małej liczbie cieków.

Badania i analizy sezonowości przepływu to zagadnienia stale chętnie rozpatrywane oraz realizowane w polskim środowisku naukowym. Wielokrotnie podejmowane są próby poszukiwania oraz wdrażania nowych procedur badawczych czy obliczeniowych, które pozwoliłyby opisać i scharakteryzować wieloletnią zmienność odpływu rzeczno-ego w coraz to nowym świetle. W badaniach łódzkiego ośrodka hydrologicznego – o czym świadczyć może literatura cytowana w niniejszej dysertacji – problematyka wieloletniej zmienności i sezonowości przepływu oraz innych charakterystyk hydrologicznych od wielu już lat zajmuje szczególnie ważne miejsce. Doświadczenie oraz wiedza zaczerpnięta z opracowań łódzkich Hydrologów była nieoceniona podczas przygotowywania powyższej pracy doktorskiej.

Pragnę w tym miejscu wyrazić wielką wdzięczność Promotorowi mojej pracy doktorskiej, Panu Profesorowi Pawłowi Jokielowi, za wszelką pomoc, cenne uwagi merytoryczne,

zaangażowanie oraz poświęcony czas. Bez tak ogromnej pomocy ukończenie niniejszej dysertacji nie byłoby możliwe.

Chciałabym również złożyć podziękowania doktorowi Przemysławowi Tomalskiemu, pełniącemu funkcję promotora pomocniczego mojej pracy doktorskiej. Dziękuję w szczególności za wsparcie, na które zawsze mogłam liczyć podczas przygotowywania prezentowanej rozprawy.

Bibliografia

1. **Absalon D., Matysik M.**, 2016, *Zmiany odpływu w silnie zurbanizowanych zlewniach województwa śląskiego* [w:] L. Hejduk, E. Kaznowska (red.), *Hydrologia zlewni zurbanizowanych*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 39, Warszawa, s. 175–186.
2. **Ali R., Kuriqi A., Abubaker S., Kisi O.**, 2019, *Long-term trends and seasonality detection of the observed flow in Yangtze River using Mann-Kendall and Sen's innovative trend method*, *Water*, 11, 1855, 1–17.
3. **Babiński Z., Szumińska D.**, 2006, Human impact on the hydrological regimen and fluvial processes of the river Wda, *Prace Geograficzne UJ*, 116, s. 9–21.
4. **Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z.**, 2005, *Hydrologia ogólna*, PWN, Warszawa, 339 ss.
5. **Baran-Gurgul K., Raczyński K.**, 2017, *Dynamika występowania niżówek w rzekach górskich i wyżynnych na przykładzie Wisłoki i górnego Wieprza (część 2. Zmienność wieloletnia)*, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 17, 1 (57) s. 5–17.
6. **Bartczak A.**, 2007, *Wieloletnia zmienność odpływu rzecznoego z dorzecza Zgłowiączki*, *Prace Geograficzne, IGiPZ PAN*, 209, 164 ss.
7. **Bartnik A.**, 2005, *Odptyw niski w Polsce*, *Acta Geographica Lodziensia*, 91, Wyd. ŁTN, Łódź, 95 ss.
8. **Bartnik A., Jokiel P.**, 1998, *Kilka uwag o autokorelacji w szeregach czasowych średnich miesięcznych przepływów rzek Polski*, *Wiadomości IMGW*, 21 (42), 4, s. 3–22.
9. **Bartnik A., Jokiel P.**, 2001, *Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce środkowej w wieloletniu 1951–1998*, *Wiadomości IMGW*, 24 (45), 2, s. 3–17.
10. **Bartnik A., Jokiel P.**, 2005, *Niektóre problemy zmian i zmienności rocznego hydrogramu przepływu rzecznoego na podstawie Pilicy w Przedborzu*, *Wiadomości IMGW*, 28 (49), 2, s. 5–31.
11. **Bartnik A., Jokiel P.**, 2009, *O sezonowym rozmieszczeniu odpływu w wybranych rzekach środkowej Polski*, *Wiadomości Meteorologii, Hydrologii i Gospodarki Wodnej*, 3 (53), 2–3, s. 15–29.
12. **Bartnik A., Jokiel P.**, 2012, *Geografia wezbrań i powodzi rzecznych*, Wyd. UŁ, Łódź, ss. 264.
13. **Bartnik A., Jokiel P.**, 2015, *Wieloaspektowa analiza statystyczna hydrogramu przepływu rzeki na przykładzie Pilicy w Przedborzu* [w:] P. Jokiel (red.) *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź, s. 173–199.
14. **Bartnik A., Jokiel P.**, 2017, *Odptyw rzeczny w Polsce. Fazy odpływu rzecznoego. Wezbrania i powodzie* [w:] J. Pociask-Karteczka, P. Jokiel, W. Marszelewski (red.), *Hydrologia Polski*, PWN, Warszawa, s. 167–175.
15. **Bartnik A., Moniewski P.**, 2015, *Analiza sezonowej zmienności wybranych cech fizykochemicznych wody małych cieków odwadniających obszary o różnym stopniu antropopresji* [w:] P. Jokiel (red.), *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź, s. 27–47.
16. **Bartnik A., Moniewski P.**, 2019, *Multiannual variability of spring discharge in Southern Poland*, *Episodes*, 42, 3, s. 187–198.
17. **Bates B.C., Kundzewicz Z. W., Wu S., Palutikof J. P. (red.)**, 2008, *Climate Change and Water*, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 ss.

18. **Biernat B.**, 1987, *Odptyw rzeczny. Typowe okresy występowania wezbrań, Mapa 1 : 1 500 000* [w:] J. Stachy (red.), *Atlas Hydrologiczny Polski*, t. I, Wyd. Geologiczne, IMGW, Warszawa, Plansza: 60.
19. **Biernat B.**, 1994, *Typowe okresy występowania wezbrań, Mapa 1 : 4 500 00* [w:] M. Najgarowski (red.), *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, Główny Geodeta Kraju, Warszawa, Karta: 32.3–5.
20. **Biernat T., Ciupa T., Suligowski R.**, 2011, *Środowisko wodne Geoparku Dolina Kamiennej*, Problemy Ekologii Krajobrazu, 29, s. 151–159.
21. **Boczarow M. K.**, 1976, *Metody statystyki matematycznej w geografii*, PWN, Warszawa, 358 ss.
22. **Borowiak D., Barańcuk J.**, 2007, *Kształtowanie się odpływu ze zlewni jeziornych* [w:] Z. Michalczyk (red.), *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym*, Wyd. UMCS, Lublin, s. 97–107.
23. **Bryndal T.**, 2014, *Identyfikacja małych zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań w Karpatach Polskich*, Wyd. Nauk. UP, Kraków, 228 ss.
24. **Byczkowski A.**, 1999, *Hydrologia*, t. II, Wyd. SGGW, Warszawa, 356 ss.
25. **Byczkowski A., Mandes B.**, 1996, *Badanie zmienności chronologicznych ciągów średnich i minimalnych przepływów rzek w północno-wschodniej Polsce*, Wiadomości IMGW, XIX(XL), 1, s. 133–146.
26. **Choiński A.**, 1991, *Katalog Jezior Polski. Część pierwsza: Pojezierze Pomorskie*, Wyd. UAM, Poznań, 221 ss.
27. **Chwodhury R. K., Eslamian S.**, 2014, *Statistical parameters used for assessing hydrologic regime* [w:] S. Eslamian (red.), *Handbook of Engineering Hydrology: Modeling, Climate Change, and Variability* (Book II), CRC Press Taylor&Francis Group, Boca Raton, s. 537–551.
28. **Colwell R. K.**, 1974, *Predictability, constancy and contingency of periodic phenomena*, Ecology, 55, s. 1148–1153.
29. **Degirmendźić 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, s. 291–310.
30. **Dębski K.**, 1961, *Charakterystyka hydrologiczna Polski*, PWN, Warszawa, 159 ss.
31. **Drwal J., Cieśliński R., Fac-Beneda J.**, 2011, *Geographic record of human impact conformance to different water relationships along a coastal river (the Łupawa catchment)*, Quaestiones Geographicae, 30 (1), Wyd. Nauk. Bogucki, Poznań, s. 19–29.
32. **Dynowska I.**, 1972, *Typy reżimów rzecznych w Polsce*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 28, Pr. Inst. Geogr., 50, 155 ss.
33. **Dynowska I.**, 1984, *Zmiana reżimu odpływu w wyniku oddziaływania zbiorników retencyjnych*, Czasopismo Geograficzne, 3, s. 301–316.
34. **Dynowska I.**, 1988, *Ocena odnawialnych zasobów wód podziemnych w Polsce*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, DCCCXLV, 71, Kraków.
35. **Dynowska I.**, 1994, *Reżim odpływu rzecznoego, Mapa 1 : 2 500 00* [w:] M. Najgarowski (red.), *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, Główny Geodeta Kraju, Warszawa, Karta: 32.3–1.
36. **Dynowska I., Pociask-Karteczka J.**, 1999, *Obieg wody* [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko Przyrodnicze*, PWN, Warszawa, s. 355–386.
37. **Fac-Beneda J.**, 2011, *Młodoglacjalny system hydrograficzny*, Wyd. UG, Gdańsk, 216 ss.
38. **Fal B.**, 1987a, *Udział odpływu okresowego w odpływie rocznym – Procent odpływu półrocznym (XI–IV), Mapa 1 : 3 000 000* [w:] J. Stachy (red.), *Atlas Hydrologiczny Polski*, t. I, Wyd. Geologiczne, IMGW, Warszawa, Plansza: 57.
39. **Fal B.**, 1987b, *Udział odpływu okresowego w odpływie rocznym – Procent odpływu sezonu wiosennego (III–IV), Mapa 1 : 3 000 000* [w:] J. Stachy (red.), *Atlas Hydrologiczny Polski*, t. I, Wyd. Geologiczne, IMGW, Warszawa, Plansza: 57.
40. **Fal B.**, 1993, *Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu*, Wiadomości IMGW, 3, 15 (37), s. 3–20.
41. **Fal B., Bogdanowicz E., Czernuszenko W., Dobrzyńska I., Koczyńska A.**, 1997, *Przepływy charakterystyczne głównych rzek polskich w latach 1951–1990*, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Hydrologia i Oceanologia, 21, 143 ss.

42. **Fal B., Bogdanowicz E.**, 2002, *Zasoby wód powierzchniowych Polski*, Wiadomości IMGW, 46 (2), s. 3–38.
43. **Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P.**, 1995, *Susze na obszarze Polski w latach 1951–1990*, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, 16, 140 ss.
44. **Fernandez R., Sayama T.**, 2015, *Hydrological recurrence as a measure for large river basin classification and process understanding*, Hydrology and Earth System Sciences, 19, s. 1919–1942.
45. **Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E.**, 2001, *Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, Przegląd Geofizyczny, 46, 4, s. 283–303.
46. **Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A.**, 1989, *Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno-gospodarczych*, PWN, Warszawa, 278 ss.
47. **Graf R.**, 2017, *Wody strefy saturacji, rodzaje, zasoby i formy drenażu* [w:] J. Pociąg-Karteczka, P. Jokiel, W. Marszelewski (red.), *Hydrologia Polski*, PWN, Warszawa, s. 81–89.
48. **Gregory S.**, 1976, *Metody statystyki w geografii*, PWN, Warszawa, 300 ss.
49. **Greń J.**, 1972, *Modele i zadania statystyki matematycznej*, PWN, Warszawa, 324 ss.
50. **Gutry-Korycka M., Binh Tang T.**, 2001, *Metody oceny ustroju hydrologicznego rzek* [w:] M. Gutry-Korycka (red.) *Geograficzne uwarunkowania ustroju rzek*, UW Wydz. Geogr. i St. Reg., Warszawa, s. 13–20.
51. **Gutry-Korycka M., Sadurski A., Kundzewicz Z. W., Pociąg-Karteczka J., Skrzypczyk L.**, 2014, *Zasoby wodne a ich wykorzystanie*, Nauka, 1, s. 77–98.
52. **Habel M.**, 2013, *Degradacja środowiska przyrodniczego i walorów turystycznych Wielkiego Kanalu Brdy*, Journal of Health Sciences, 3, 14, s. 75–81.
53. **Haines A. T., Finlayson B. L., McMahon T. A.**, 1988, *A global classification of river regimes*, Applied Geography, 8, s. 255–272.
54. **Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Szczecinie (IMGW)**, 2014, *Opracowanie projektu warunków korzystania z wód zlewni rzeki Iny*. SYNTEZA, Wrocław, 237 ss.
55. **Jaguś A.**, 2017, *Kaskada Soły jako źródło wody wodociągowej*, Acta Geographica Silesiana, 11/3, 27, s. 25–30.
56. **Jarosiewicz A., Obolewski K.**, 2013, *Wpływ małych elektrowni wodnych na dynamikę zmian stanu, przepływu i temperatury wód powierzchniowych i gruntowych – studium przypadku w dolinie rzeki Słupi*, Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 62, s. 363–373.
57. **Jokiel P.**, 1994, *Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*, Acta Geographica Lodziensia, 66–67, Wyd. ŁTN, Łódź, 236 ss.
58. **Jokiel P.**, 2004, *Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku*, Wyd. UŁ, Łódź, 114 ss.
59. **Jokiel P.**, 2015, *Od redaktora* [w:] P. Jokiel (red.), *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź, s. 9–12.
60. **Jokiel P.**, 2016, *Sezonowa struktura odpływu rzecznego w środkowej Polsce i jej zmiany w wieloletniu w świetle krzywych sumowych i terminów połowy odpływu*, Przegląd Geograficzny, 88, 1, s. 75–86.
61. **Jokiel P., Kożuchowski K.**, 1989, *Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu*, Dokumentacja Geograficzna, IGiPZ PAN, 6, 94 ss.
62. **Jokiel P., Stanisławczyk B.**, 2012, *Roczne odpływy maksymalne i minimalne w dorzeczu Odry i Wisły w przekroju wieloletnim*, Czasopismo Geograficzne, 83, 3–4, s. 133–143.
63. **Jokiel P., Stanisławczyk B.**, 2016, *Zmiany i wieloletnia zmienność sezonowości przepływu wybranych rzek Polski*, Prace Geograficzne UJ, 144, s. 9–33.
64. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2014a, *Próba wyznaczenia sezonów hydrologicznych w obrębie rocznych hydrogramów przepływu wybranych rzek środkowej Polski* [w:] Magnuszewski (red.), *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 20, t. 2, Warszawa, s. 203–217.
65. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2014b, *Termin połowy odpływu - próba zastosowanie tej charakterystyki i jej pochodnych do oceny zmian i zmienności sezonowej struktury odpływu rzecznego* [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red), *Woda w mieście*, Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, t. 2, Instytut Geografii UJK, Kielce, s. 81–90.

66. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2015a, *Sezony hydrologiczne w rzekach środkowej Polski*, Przegląd Geograficzny, 87, 1, s. 71–93.
67. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2015b, *Identyfikacja i analiza sezonów hydrologicznych na przykładzie dwóch rzek z obszaru środkowej Polski* [w:] P. Jokiel (red.), *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź, s. 201–213.
68. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2016, *Zmiany i zmienność sezonowej struktury odpływu rzecznego w świetle terminu połowy odpływu*, Gospodarka Wodna, 1(805), s. 12–18.
69. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2017, *Sezonowość odpływu z wybranych zlewni karpackich*, Przegląd Geograficzny, 89, 1, s. 29–44.
70. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2018, *Zróźnicowanie i zmienność wieloletnia sezonowości przepływu w wybranych przekrojach wodowskazowych Wisły*, Prace Geograficzne UJ, 155, s. 27–45.
71. **Jokiel P., Tomalski P.**, 2019, *Transformacje układu sezonów hydrologicznych wzdłuż biegu Wisły i Odry*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 42, Warszawa, s. 21–33.
72. **Kasprzak M.**, 2010, *Wezbrania i powodzie na rzekach Dolnego Śląska. Ochrona przeciwpowodziowa województwa dolnośląskiego* [w:] P. Migoń (red.), *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki*, Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 14, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, s. 103–104.
73. **Kępińska-Kasprzak M.**, 2015, *Susze hydrologiczne w Polsce i ich wpływ na gospodarowanie wodą*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań, 132 ss.
74. **Kokoszka R., Zawisza E.**, 2015, *Założenia gospodarki wodnej Zbiornika Świnna Poręba w aspekcie jego głównych funkcji*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, s. 39–147.
75. **Kołodziejczyk U., Kuroczycki L., Żebrowska M.**, 2016, *Wezbrania na Bobrze w Żaganiu w świetle obserwacji historycznych*, Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, 162, 42, 129–137.
76. **Kondracki J.**, 1998, *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa, 441 ss.
77. **Kozek M.**, 2018, *Spatial variability of low-flows in the upper Warta River catchment*, Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 18, 3, s. 67–76.
78. **Kozek M., Tomaszewski E.**, 2018, *Selected characteristics of hydrological drought progression in the upper Warta river catchment*, Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 18, 3, s. 77–87.
79. **Koźuchowski K.** (red.), 2000, *Pory roku w Polsce. Sezonowe zmiany w środowisku a wieloletnie tendencje klimatyczne*, Łódź, 147 ss.
80. **Koźuchowski K.**, 2004a, *Skala i tendencje współczesnych zmian temperatury powietrza w Polsce* [w:] K. Koźuchowski (red.), *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. Biblioteka, s. 25–45.
81. **Koźuchowski K.**, 2004b, *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w XX i XXI wieku* [w:] K. Koźuchowski (red.), *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. Biblioteka, s. 47–57.
82. **Koźuchowski K., Wibig J.**, 1988, *Kontynentalizm pluwialny w Polsce. Zróźnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie*, Acta Geographica Lodziensia, 55, Wyd. ŁTN, Łódź, 102 ss.
83. **Koźuchowski K., Degirmendžić J., Fortuniak K., Wibig J.**, 2000, *Trends to changes in seasonal aspects of the climate in Poland*, Geographia Polonica, 73, 2, s. 7–24.
84. **Kreyszig E.**, 1979, *Applied Mathematics*, Wiley Press, Londyn
85. **Kubiak-Wójcicka K.**, 2010, *Zmienność przepływów i zasobów wodnych Gwdy* [w:] D. Wrzesiński (red.), *Odpływ rzeczny i jego regionalne uwarunkowania*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań, s. 9–107.
86. **Kubiak-Wójcicka K., Kornaś M.**, 2015, *Impact of Hydrotechnical Structures on Hydrological Regime of the Gwda and Drawa Rivers*, Quaestiones Geographicae, 34, 1, s. 99–110.
87. **Kundzewicz Z. W.**, 2011, *Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje*, Landform Analysis, 15, s. 39–49.
88. **Kundzewicz Z. W., Kanae S., Seneviratne S. I., Handmer J., Nicholls N., Peduzzi P., Mechler R., Bouwer L. M., Arnell N., Mach K., Muir-Wood R., Brakenridge G. R., Kron W., Benito G., Honda Y., Takahashi K., Sherstyukov B.**, 2014, *Flood risk and climate change: global and regional perspectives*, Hydrological Sciences Journal, 59, 1, s. 1–28.

89. **Lenar–Matyas A., Witkowska H., Żak A.**, 2006, *Rzeka Kamienna – zmiany na przestrzeni wieków i propozycja jej renaturyzacji*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4, 2, s. 79–88.
90. **Ljung G. M., Box G. A. P.**, 1978, *On a Measure of a Lack of Fit in Time Series Models*, Biometrika, 65, 2, s. 297–303.
91. **Lwowiec M. I.**, 1979, *Zasoby wodne świata*, PWN, Warszawa, 438 ss.
92. **Łajczak A.**, 2006, *Regulacja rzeki a zagrożenie powodziowe, na przykładzie Nidy*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 4, 1, s. 217–233.
93. **Łupaszek M.**, 2013, *Wpływ czynników antropogenicznych na równowagę koryt dopływów górnej Wisły*, Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie, 13, 1 (41), s. 75–88.
94. **Madeyski M., Michalec B., Tarnawski M.**, 2008, *Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych*, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN, Katedra Technicznej Infrastruktury Wsi Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków, 77 ss.
95. **Marcinkowski P., Grygoruk M.**, 2017, *Long-Term downstream effects of a dam on a lowland river flow regime: case study of the upper Narew*, Water, 9(10), 783, s. 1–19.
96. **Markham Ch. G.**, 1970, *Seasonality of precipitation in the United States*, Annals of the Association of American Geographers, 60, 3, s. 350–370.
97. **Marosz M., Wójcik R., Biernacik D., Jakusik E., Pilarski M., Owczarek M., Miętus M.**, 2011, *Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. Rezultaty Projektu Klimat*, Prace i Studia Geograficzne, 47, s. 51–66.
98. **Marsz A. A.**, 2002, *Wprowadzenie* [w:] A. A. Marsz, A. Styszyńska (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akademia Morska w Gdyni, s. 11–29.
99. **Marsz A. A.**, 2005, *O przyczynach „wcześniejszego następowania zimy” na obszarze Europy nadbałtyckiej w ostatnim 30-leciu XX wieku*, Przegląd Geograficzny, 77, 3, s. 289–310.
100. **Marszelewski W.**, 2007, *Zróżnicowanie zasobów wód powierzchniowych dorzeczy Przymorza* [w:] Z. Michalczyk (red.), *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym*, Wyd. UMCS, Lublin, s. 361–371.
101. **Maślanka K., Kostuch R.**, 2015, *Świnna Poręba – długo oczekiwany zbiornik wodny*, Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus, 14 (1), s. 161–168.
102. **Mazur A.**, 2013, *Ocena skuteczności działania zbiornika wstępnego na rzece Por*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1, 4, s. 299–310.
103. **McCabe G. J., Clark M. P.**, 2005, *Trend and variability in Snowmelt Runoff in the Western United States*, Journal of Hydrometeorology, 6, AMS, Boston, s. 476–482.
104. **Michalczyk Z.**, 1986, *Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Roztocza*, Wyd. UMCS, Lublin, 195 ss.
105. **Michalczyk Z.**, 2017, *Odptyw średni, zmienność w czasie i zróżnicowanie przestrzenne* [w:] J. Pociask–Karteczka, P. Jokiel, W. Marszelewski (red.), *Hydrologia Polski*, PWN, Warszawa, s. 153–160.
106. **Mikulski Z.**, 1963, *Zarys hydrografii Polski*, PWN, Warszawa, 288 ss.
107. **Mikulski Z.**, 2002, *The increase of reservoir retention in Poland*, Miscellanea Geographica, 10, s. 139–146.
108. **Milligan G. W., Cooper M. C.**, 1985, *An Examination of Procedures for Determining the Number of Clusters in a Data Set*, Psychometrica, 50, 2, s. 159–179.
109. **Mitosek H. T.**, 2003, *Problemy hydrologii stochastycznej. Procesy stochastyczne, pola losowe i momenty liniowe*, Wyd. Akademii Świętokrzyskiej, Kielce, 183 ss.
110. **Mitosek H. T.**, 2009, *Metody statystyczne w hydrologii*, Wyd. UJK, Kilece, 295 ss.
111. **Mojena R.**, 1977, *Hierarchical grouping methods and stopping rules: An evaluation*, Computer Journal, 20, 4, s. 359–363.
112. **Moniewski P.**, 2004, *Źródła okolic Łodzi*, Acta Geographica Lodziensia, 87, Wyd. ŁTN, Łódź, 140 ss.
113. **Moniewski P.**, 2015a, *Seasonal variability of discharge in the selected springs of the Central Europe*, Episodes, 38, 3, s. 189–196.

114. **Moniewski P.**, 2015b, *Cechy fizykochemiczne wód powierzchniowych i ich sezonowa zmienność na przykładzie Dzierżąznej*, Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus, 14 (3), s. 93–106.
115. **Moniewski P.**, 2015c, *Analiza wydajności źródeł na przykładzie dwóch obiektów z okolic Łodzi* [w:] P. Jokiel (red.), *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, 2015, s. 153–172.
116. **Mujere N., Eslamain S.**, 2014, *Climate Change Impacts on Hydrology and Water Resources* [w:] S. Eslamian (red.), *Handbook of Engineering Hydrology Modeling, Climate Change and Variability* (Book II), CRC Press Taylor&Francis Group, Boca Raton, s. 113–126.
117. **Niedźwiedź T.** (red.), 2003, *Słownik meteorologiczny*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW, Warszawa, 496 ss.
118. **Norcliffe G. B.**, 1986, *Statystyka dla geografów*, PWN, Warszawa, 258 ss.
119. **Olivier J. E.**, 1980, *Monthly precipitation distribution: a comparative index*, Professional Geographer, 32, 3, s. 300–309.
120. **Paczyński B., Sadurski A.**, 2007, *Hydrogeologia regionalna Polski*, 1, Wody Słodkie, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 542 ss.
121. **Pardé M.**, 1957, *Rzeki*, PWN, Warszawa, 233 ss.
122. **Parysek J. J.**, 1982, *Modele klasyfikacji w geografii*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań, 224 ss.
123. **Parzóch K., Solarska A.**, 2008, *Antropogeniczna przebudowa den dolinnych Przedgórze Sudeckiego na przykładzie Oławy i Krynki*, Landform Analysis, 9, s. 314–318.
124. **Piętka I.**, 2009, *Wieloletnia zmienność wiosennego odpływu rzek polskich*, Prace i Studia Geograficzne, 43, s. 81–95.
125. **Pociask–Karteczka J.** (red.), 2003, *Zlewnia. Właściwości i procesy*, Wyd. UJ, Kraków, 288 ss.
126. **Pociask–Karteczka J., Limanówka D., Nieckarz Z.**, 2002–2003, *Wpływ oscylacji północnoatlantyckiej na przepływy rzek karpaccich (1951–2000)*, Folia Geographica–Series Geographica Physica, 33–34, s. 89–104.
127. **Pociask–Karteczka J., Nieckarz Z., Limanówka D.**, 2003, *Prediction of hydrological extremes by air circulation indices* [w:] *Water Resources Systems – Water Availability and Global Change*, IAHS Publications, 280, s. 134–141.
128. **Powałka A., Ruman M., Soczówka A.**, 2009, *Wpływ zbiornika wodnego w Świnnej Porębie na sieć kolejową województwa małopolskiego* [w:] A. T. Jankowski, D. Absalon, R. Machowski, M. Ruman (red.), *Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska*, UŚ, Sosnowiec, s. 233–243.
129. **Rachoń J.**, 2002, *Turystyka jako dochodowa dziedzina gospodarki Pomorza*, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk, 124 s.
130. **Raczyński K.**, 2018, *Wpływ zbiornika Nielisz na wyrównywanie przepływów niskich Wieprza*, Gospodarka Wodna, 7, s. 197–200.
131. **Radecki–Pawlik A., Wałęga A., Młyński D., Młoczek W., Kokoszka R., Tokarczyk T., Szalińska W.**, 2020, *Seasonality of mean flows as a potential tool for the assessment of ecological processes: mountain rivers, Polish Carpathians*, Science of the Total Environment, 716, s. 1–42.
132. **Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim w 2015 roku**, 2016, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź, 188 ss.
133. **Roczniki Hydrologiczne Wód Powierzchniowych (dorzecza: Odry i Wisły)**, 1951–2010, IMGW, Warszawa.
134. **Rotnicka J.**, 1977, *Teoretyczne podstawy wydzielenia okresów hydrologicznych i analizy reżimu rzecznoego na przykładzie rzeki Proсны*, Pr. Kom. Geogr.–Geolog., PTPN, 18, 94 ss.
135. **Rotnicka J.**, 1988, *Taksonomiczne podstawy klasyfikacji reżimu rzecznoego*, UAM, Seria Geografia, 40, 130 ss.
136. **Rutkowska A., Ptak M.**, 2012, *On certain stationarity tests for hydrologic series*, Studia Geotechnica et Mechanica, 34, 1, s. 51–63.
137. **Rzętała M.**, 2000, *Problemy eksploatacji i ochrony zbiorników wodnych na Wyżynie Śląskiej i jej obrzeżach* [w:] M. Nakonieczny (red.), *Problemy środowiska i jego ochrony*, 8, Wyd. UŚ, Katowice, s. 157–175.
138. **Rzętała M.**, 2008, *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego*, Wyd. UŚ, Katowice, 176 ss.

139. **Rzętała M.**, 2017, *Sztuczne zbiorniki wodne i ich funkcje* [w:] J. Pociask–Karteczka, P. Jokieli, W. Marszelewski (red.), *Hydrologia Polski*, PWN, Warszawa, s. 240–246.
140. **Sadowski W.** (red.), 1976, *Mała encyklopedia statystyki*, PWE, Warszawa, 772 ss.
141. **Skorupka S., Auderska H., Łempicka Z.** (red.), 1968, *Mały słownik języka polskiego*, PWN, Warszawa, 1036 ss.
142. **Słowik–Opoka E., Brożek M.**, 2015, *Badanie wpływu zmian współczynnika szorstkości na wielkość przepływu obliczeniowego*, *Landform Analysis*, 30, s. 49–56.
143. **Sobol E.** (red.), 1996, *Słownik wyrazów obcych* (Wydanie nowe), PWN, Warszawa, 1186 ss.
144. **Soczyńska U.**, 1977, *Podstawy metodyczne regionalnego modelu zlewni w warunkach polskich*, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Hydrologia i Oceanologia, 130 ss.
145. **Soja R.**, 1988, *Zmiana odpływu w zlewni Wistoki pod wpływem działalności człowieka* [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna, 4, IGPZ, Wrocław, s. 9–22.
146. **Soja R.**, 2002, *Hydrologiczne aspekty antropopresji w polskich Karpatach*, Prace Geograficzne, IGPZ PAN, 186, 130 ss.
147. **Somorowska U.**, 2009, *Wzrost zagrożenia suszą hydrologiczną w różnych regionach geograficznych Polski w XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, 43, s. 97–114.
148. **Somorowska U., Piętka I.**, 2012, *Streamflow changes in mesoscale lowland catchment under future climate conditions*, *Papers on Global Change*, 19, s. 53–65.
149. **Stachy J.**, 1968, *Zmniejszanie się odpływu rzek polskich w bieżącym stuleciu*, Prace PIHM, z. 95, s. 3–13.
150. **Stachy J.**, 1970, *Wieloletnia zmienność odpływu rzek polskich*, PIHM, Warszawa, 42 ss.
151. **Stachy J.**, 2011, *Występowanie lat mokrych i posusznych w Polsce (1951–2008)*, *Gospodarka Wodna*, 8, s. 313–321.
152. **Stachy J., Biernat B., Dobrzyńska I.**, 1979, *Odpływ rzek polskich w latach 1951–1970*, Materiały Badawcze IMGW, Seria Specjalna, 6, 71 ss.
153. **Stachy J., Fal B., Dobrzyńska I., Hołdakowska J.**, 1996, *Wezbrania rzek polskich w latach 1951–1990*, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Hydrologia i Oceanologia, 20, 80 ss.
154. **Stanisławczyk B.**, 2017, *Wieloletnia dynamika odpływów charakterystycznych z wybranych zlewni Polski w świetle zmian indeksu NAO*, *Przegląd Geograficzny*, 89, 3, 413–428.
155. **Stanisławczyk B., Tomalski P.**, 2015, *Sezony hydrologiczne w sześciu wybranych rzekach Polski* [w:] D. Absalon, M. Matysik, M. Ruman (red.), *Nowoczesne metody i rozwiązania w hydrologii i gospodarce wodnej*, Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, t. 3, Sosnowiec, s. 365–385.
156. **Stanisławczyk B., Tomalski P.**, 2017, *Sezony hydrologiczne w czterech wybranych rzekach Polski o zróżnicowanych warunkach kształtowania się reżimu odpływu*, *Badania Fizjograficzne*, R. VIII, Ser. A – Geogr. Fiz. (A68), PTPN, Poznań, s. 173–187.
157. **Starmach J., Mazurkiewicz–Boroń G.**, 2000, *Zbiornik Dobczycki – ekologia, eutrofizacja, ochrona*, Zakład Biologii Wód, PAN, Kraków, 261 ss.
158. **Stolarska M.**, 2008, *Sezonowe zmiany zasobów i podstawowych właściwości fizykochemicznych wód w małej zlewni nizinnej*, *Acta Geographica Lodziensia*, 94, Wyd. ŁTN, Łódź, 97 ss.
159. **Styszyńska A.**, 2002, *Związki między przepływem warty w Poznaniu a zimowymi wskaźnikami NAO w okresie 1865–2000* [w:] A. A. Marsz, A. Styszyńska (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akademia Morska w Gdyni, s. 173–180.
160. **Szafrański C., Stefanek P.**, 2008, *Wstępna ocena wpływu zbiornika Mściwojów na przepływy w rzece Wierzbiak i głębokości zwierciadła wody gruntowej w terenach przyległych*, *Rocznik Ochrony Środowiska*, 10, s. 491–502.
161. **Szewczyk G.**, 2007, *Roboty remontowe na zbiorniku wodnym „Poraj” w latach 2000–2006*, *Nauka – Przyroda – Technologie*, 1, 2, s. 1–8.
162. **Szumińska D.**, 2014, *Przebieg odpływu w zlewni Wdy na tle zmian intensywności użytkowania wód w drugiej połowie XX wieku*, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Wdecki Park Krajobrazowy, Bydgoszcz, 177 s.

163. **Szumińska D., Habel M.**, 2005, *Problemy związane z użytkowaniem rzeki Wdy pomiędzy jeziorami Wdzydze a stopniem wodnym Wojtal oraz ich naturalne i antropogeniczne uwarunkowania* [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*, Promotio Geographica Bydgosiensia, 2, Bydgoszcz, s. 67–88.
164. **Świątek M.**, 2017, *Mała energetyka wodna i geotermia w województwie zachodniopomorskim* [w:] M. Świątek, A. Cedro (red.), *Odnawialne źródła energii w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa zachodniopomorskiego*, Wydawnictwo ZAPOL, Szczecin, s. 191–204.
165. **Tomalski P.**, 2010, *Sezonowość wahań płytkich wód podziemnych w środkowej Polsce w świetle miar Markhama* [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Instytut Geografii UJK, Kielce, s. 193–201.
166. **Tomalski P.**, 2011, *Dynamika zasobów płytkich wód podziemnych w województwie łódzkim i na obszarach sąsiednich*, Acta Geographica Lodziensia, 97, Wyd. ŁTN, Łódź, 102 ss.
167. **Tomalski P.**, 2012, *Sezonowość wybranych charakterystyk fizykochemicznych wód podziemnych w dolinie małej rzeki miejskiej na przykładzie Sokołówki (Łódź)* [w:] W. Marszelewski (red.), *Gospodarowanie wodą w warunkach zmieniającego się środowiska*, Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, t. 1, Toruń, s. 187–199.
168. **Tomalski P., Tomaszewski E.**, 2015, *Metody, formuły i wzory obliczeniowe zastosowane w pracy* [w:] P. Jokiel (red.), *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź, s. 215–271.
169. **Tomaszewski E.**, 2001, *Sezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990*, Acta Geographica Lodziensia, 79, Wyd. ŁTN, Łódź, 149 ss.
170. **Tomaszewski E.**, 2007, *Pora koncentracji odpływu podziemnego w środkowej Polsce* [w:] Z. Michalczyk (red.) *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym*, Wyd. UMCS, Lublin, s. 537–547.
171. **Tomaszewski E.**, 2012, *Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź, 265 ss.
172. **Tomaszewski E.**, 2014, *Seasonality level of hydrological drought in rivers and its variability* [w:] P. Gâstescu, W. Marszelewski, P. Bretcan (red.), *Water resources and wetlands*, Ed. Transversal, Tulcea (Romania), s. 278–284 (Conference proceedings of 2nd International Conference).
173. **Tomaszewski E.**, 2015, *Analiza czasowej i przestrzennej zmienności niedoborów odpływu niżówkowego w środkowej Polsce*, [w:] P. Jokiel (red.), *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*, Wyd. UŁ, Łódź, s. 107–127.
174. **Tomaszewski E.**, 2017, *Seasonal concentration time of hydrological drought in Poland*, Geography and Tourism, 5, 2, s. 17–26.
175. **Wałęga A., Młyński D.**, 2016, *Ocena sezonowości występowania przepływów niskich rzeki górskiej za pomocą wskaźników Colwella*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2, 2, s. 557–568.
176. **Wałęga A., Młyński D.**, 2017, *Seasonality of median monthly discharge in selected Carpathian rivers of the upper Vistula basin*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 12, 2, s. 617–628.
177. **Wiejaczka Ł.**, 2011, *Wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka” na abiotyczne elementy środowiska przyrodniczego w dolinie Ropy*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 229, 144 ss.
178. **Wiejaczka Ł., Kijowska-Strugała M., Pierwoła P., Nowak M.**, 2015, *Influence of the Czorsztyn – Sromowce Wyżne reservoir complex on the Dunajec river thermal– regime*, Geographia Polonica, 88, 3, s. 467–482.
179. **Witkowski M., Witkowska B.**, 2019, *Changes in the flow and quality of water in the dam reservoir of the Mała Panew catchment (South Poland) characterized by multidimensional data analysis*, Archives of Environmental Protection, 45, 1, s. 26–41.
180. **Wojtuszczyńska K.**, 2007, *Dynamika zmian stanu wód powierzchniowych i podziemnych w rejonie zbiorników wodnych Solina-Myczkowce*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 23, 3, 119–134.
181. **Woś A.**, 1994, *Regiony Klimatyczne*, Mapa 1 : 2 500 00 [w:] M. Najgarowski (red.), *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, Główny Geodeta Kraju, Warszawa, Karta: 31.8–6;7.

182. **Wrześciński D.**, 2008, *Impact of the North Atlantic Oscillation on river runoff in Poland*, IWRA, 13th World Water Congress Montpellier, France, France, 1–4 September 2008 (https://www.researchgate.net/publication/267842858_Impact_of_the_North_Atlantic_Oscillation_on_river_runoff_in_Poland)
183. **Wrześciński D.**, 2009a, *Stabilność reżimu odpływu rzek w Polsce* [w:] A. T. Jankowski, D. Absalon, R. Machowski, M. Ruman (red.), *Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska*, UŚ, Sosnowiec, s. 307–318.
184. **Wrześciński D.**, 2009b, *Tendencje zmian przepływu rzek Polski w drugiej połowie XX wieku*, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna, 60, s. 147–162.
185. **Wrześciński D.**, 2010, *Odptyw rzek w Polsce w różnych fazach Oscylacji Północnoatlantyckiej*, Badania Fizjograficzne, Seria A – Geografia Fizyczna, 61, s. 129–144.
186. **Wrześciński D.**, 2011, *Regional differences in the influence of the North Atlantic Oscillation on seasonal river runoff in Poland*, Quaestiones Geographicae, 30, 3, s. 127–136.
187. **Wrześciński D.**, 2013a, *Entropia odpływu rzek w Polsce*, Wyd. Nauk. Bogucki, Poznań, 204 ss.
188. **Wrześciński D.**, 2013b, *Uncertainty of flow regime characteristics of rivers in Europe*, Quaestiones Geographicae, 32 (1), s. 49–59.
189. **Wrześciński D.**, 2013c, *Transformacje reżimu odpływu rzek w Polsce* [w:] R. K. Borówka, A. Cedro, I. Kavetsky, *Współczesne problemy badań geograficznych*, Wyd. US, s. 59–69.
190. **Wrześciński D.**, 2014, *Detekcja zmian reżimu odpływu rzek w Polsce* [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w mieście*, Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, t. 2, Instytut Geografii UJK, Kielce, s. 319–330.
191. **Wrześciński D.**, 2016, *Zmiany reżimu odpływu rzecznoego w Polsce* [w:] L. Hajduk, E. Kaznowska (red.), *Hydrologia zlewni zurbanizowanych*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 39, s. 63–75.
192. **Wrześciński D.**, 2017a, *Reżimy rzek Polski* [w:] J. Pociask–Karteczka, P. Jokiel, W. Marszelewski (red.), *Hydrologia Polski*, PWN, Warszawa, s. 215–221.
193. **Wrześciński D.**, 2017b, *Typologia reżimu odpływu rzek w Polsce w podejściu nadzorowanym i nienadzorowanym*, Badania Fizjograficzne, R. VIII, Seria A – Geografia Fizyczna (A68), s. 253–264.
194. **Wrześciński D.**, 2017c, *Identyfikacja cech reżimu odpływu rzek w Polsce na różnych poziomach grupowania*, Badania Fizjograficzne, R. VIII, Seria A – Geografia Fizyczna (A68), s. 265–278.
195. **Wrześciński D.**, 2018, *Typologia reżimu odpływu rzek w Polsce w różnych fazach Oscylacji Północnoatlantyckiej*, Badania Fizjograficzne, R. IX, Seria A – Geografia Fizyczna (A69), s. 249–261.
196. **Wrześciński D., Tomaszewski P.**, 2010, *Stabilność elementów hydrometeorologicznych w Polsce w latach 1951–2000* [w:] D. Wrześciński (red.), *Odptyw rzeczny i jego regionalne uwarunkowania*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań, s. 169–185.
197. **Wrześciński D., Perz A.**, 2016, *Cechy reżimu odpływu rzek w zlewni Warty*, Badania Fizjograficzne, R. VII, Seria A – Geografia Fizyczna (A67), s. 289–304.
198. **Żmudzka E.**, 2009, *Współczesne zmiany klimatu Polski*, Acta Agrophysica, 13, 2, s. 555–568.

Źródła internetowe:

1. Januchta–Szostak A., Banasik K., Chudziński P., Drzewiecki S., Hausner J., Jania J., Kundzewicz Z., Kutek K., Konieczny R., Licznar P., Magnuszewski A., Nachlik E., Ramm K., Rosiek K., Zaleski J., Ziętara P., 2020, *Alert Wodny 3*, Open Eyes Economy Summit
<http://hydro.geo.uni.lodz.pl/uploads/file/alert_wodny/Alert-WODNY_3.pdf>
[dostęp: 1.08.2020]
2. Kundzewicz Z., Banasik K., Błażejowski R., Januchta–Szostak A., Jokiel P., Kochanek K., Kutek K., Konieczny R., Majewski W., Nachlik E., Nieznański P., Pierzgalski E., Przybylak R., Romanowicz R., Wałęga A., Zaleski J., 2020, *Alert Wodny 2*, Open Eyes Economy Summit
<http://hydro.geo.uni.lodz.pl/uploads/file/alert_wodny/Alert-WODNY_2.pdf>
[dostęp: 1.07.2020]
3. Rzętała M., Machowski R., 2014, *Wody powierzchniowe*, Encyklopedia Województwa Śląskiego, t. 1
<http://ibrbs.pl/mediawiki/index.php/Wody_powierzchniowe> [dostęp: 20.06.2020]
4. Rzętała M., 2016, *Zlewnia Przemszy*, Encyklopedia Województwa Śląskiego, t.3
<http://ibrbs.pl/mediawiki/index.php/Zlewnia_Przemszy> [dostęp: 20.06.2020]
5. Rzętała M., Machowski R., 2017, *Zlewnia Pilicy*, Encyklopedia Województwa Śląskiego, t.4
<http://ibrbs.pl/mediawiki/index.php/Zlewnia_Pilicy> [dostęp: 7.06.2020]
6. Stasiewicz J., 2002, *Gospodarka wodno-ściekowa, Źródła wody dla Wrocławia*
<<http://eko.org.pl/wroclaw/miasto/index.html>> [dostęp: 16.05.2020]
7. *Elektrownie wodne rzek Pomorza Środkowego*
<<http://www.regionslupski.pl/art-elektrownie-wodne-rzek-pomorza-srodkowego.html>>
[dostęp: 7.06.2020]
8. *Elektrownie wodne Ziemi Słupskiej*
<<http://ustka.travel/a14-elektrownie-wodne.html>> [dostęp: 7.06.2020]
9. *Elektrownie wodne na Bobrze*
<<https://docplayer.pl/5814110-Elektrownie-wodne-na-bobrze.html>> [dostęp: 10.06.2020]
10. StatSoft, 2006, *Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL*, Kraków
<WEB: <https://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>> [dostęp: 10.03.2018]
11. *Zbiornik wodny Wióry na Świślinie*: Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie,
<<http://warszawa.rzgw.gov.pl/o-nas/nasze-objekty/zbiorniki-i-kanaly/zbiornik-wodny-wiory-na-swislinie>> [dostęp: 20.06.2017]

Spis tabel

Tabela 1. Statystyczna istotność (test Manna–Kendalla; $\alpha=0,05$) i kierunki trendów w wieloletnich szeregach czasowych wybranych miar sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni.

Tabela 2. Współczynniki korelacji pomiędzy wybranymi miarami sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni Polski.

Tabela 3. Sezony hydrologiczne zidentyfikowane w badanym zbiorze rzek Polski.

Tabela 4. Liczba wydzielonych sezonów hydrologicznych i ich wystąpień na średnich rocznych hydrogramach przepływu w badanej grupie rzek.

Tabela 5. Kierunki i statystyczna istotność trendów w szeregach jednoimiennych przepływów dobowych w wybranych sezonach hydrologicznych w badanej grupie rzek.

Spis rysunków

- Rys. 1.** Rozmieszczenie wybranych posterunków wodowskazowych na tle średniego odpływu jednostkowego w Polsce (Michalczyk 2017; zmienione).
- Rys. 2.** Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji fizycznogeograficznej Polski (Kondracki 1998).
- Rys. 3.** Struktura badanego zbioru zlewni według typu reżimu hydrologicznego (Wrzesiński 2017c).
- Rys. 4.** Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji hydrologiczno-fizjograficznej (Soczyńska 1977).
- Rys. 5.** Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji słodkich wód podziemnych (Paczyński, Sadurski 2007).
- Rys. 6.** Struktura badanego zbioru zlewni według regionalizacji klimatycznej (Woś 1994).
- Rys. 7.** Liczba badanych zlewni w klasach powierzchni (A) i zróżnicowanie ich powierzchni (B).
- Rys. 8.** Zakres czasowy badanych szeregów przepływów w wieloleciu 1951–2010.
- Rys. 9.** Schemat konstrukcji wykresu typu box&whisker.
- Rys. 10.** Schemat konstrukcji miar sezonowości Markhama.
- Rys. 11.** Wartości kryterium GWZ dla Warty w Działoszynie.
- Rys. 12.** Podział dendrogramu podobieństwa typów dni wydzielonych zgodnie z kryteriami określania optymalnej liczby klas taksonomicznych (kryterium GWZ, reguła Mojeny) dla Dunajca po Nowy Sącz.
- Rys. 13.** Przykład zastosowania metody delimitacji sezonów hydrologicznych dla Małej Panwi po wodowskaz Staniszcze Wielkie.
- Rys. 14.** Schemat tworzenia nazwy sezonu hydrologicznego (wg Jokiela, Tomalski 2014a).
- Rys. 15.** Średni udział odpływu w poszczególnych miesiącach w sumie rocznej w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010 (A) oraz w 1963 roku (B) i w 2011 roku (C).
- Rys. 16.** Zróżnicowanie udziału odpływu w poszczególnych miesiącach w sumie rocznej w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.
- Rys. 17.** Udział odpływu w półroczu chłodnym i w półroczu ciepłym w odpływie rocznym w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.
- Rys. 18.** Liczba statystycznie istotnych trendów w szeregach niskich przepływów w badanej grupie rzek w poszczególnych miesiącach roku.
- Rys. 19.** Przestrzenne rozmieszczenie trendów niskich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek Polski w wieloleciu 1951–2010.
- Rys. 20.** Przykłady statystycznie istotnych trendów niskich przepływów miesięcznych (NQ_m) w wieloleciu: A – trend malejący (Bóbr; niskie przepływy maja); B – trend rosnący (Biebrza; niskie przepływy lutego).

Rys. 21. Liczba statystycznie istotnych trendów w szeregach średnich przepływów w badanej grupie rzek w poszczególnych miesiącach roku.

Rys. 22. Przestrzenne rozmieszczenie trendów średnich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek Polski w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 23. Przykłady statystycznie istotnych trendów średnich przepływów miesięcznych (SQ_m) w wieloleciu: A – trend malejący (Bóbr; średnie przepływy maja); B – trend rosnący (Dunajec; średnie przepływy września).

Rys. 24. Liczba statystycznie istotnych trendów w szeregach wysokich przepływów w badanej grupie rzek w poszczególnych miesiącach roku.

Rys. 25. Przestrzenne rozmieszczenie trendów wysokich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek Polski w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 26. Przykłady statystycznie istotnych trendów wysokich przepływów miesięcznych (WQ_m) w wieloleciu: A – trend malejący (Wiśłok; wysokie przepływy marca); B – trend rosnący (Dunajec; wysokie przepływy września).

Rys. 27. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) pierwszego współczynnika autokorelacji (Ra_1) średnich przepływów miesięcznych w badanej grupie rzek w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 28. Typy bezwładnościowe rzek (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie rzek o różnym typie bezwładności (B) w szeregach średnich miesięcznych przepływów.

Rys. 29. Zróżnicowanie (A) i przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego terminu połowy odpływu (TPO_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010 oraz zestawienie terminów i dat TPO_j (C).

Rys. 30. Zróżnicowanie rocznych terminów połowy odpływu (TPO_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 31. Zróżnicowanie najwcześniejszych (TPO_{wcz} ; A) i najpóźniejszych ($TPO_{póz}$; B) terminów połowy odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 32. Roczne hydrogramy przepływu Raby po Proszówce w latach o wczesnym ($TPO_{wcz(1982)}$), przeciętnym (TPO_{sr}) oraz późnym terminie połowy odpływu ($TPO_{póz(1996)}$) w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 33. Względne krzywe sumowe odpływu rocznego Bzury po Sochaczew w latach o wczesnym ($TPO_{wcz(1975)}$), przeciętnym (TPO_{sr}) oraz późnym terminie połowy odpływu ($TPO_{póz(1960)}$) w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 34. Wieloletnie zmiany terminów połowy odpływu (TPO_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Rys. 35. Przykłady statystycznie istotnych trendów terminu połowy odpływu (TPO_j) w wieloleciu: A – trend malejący (Soła); B – trend rosnący (Wda).

Rys. 36. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r_{TPO}) terminów połowy odpływu poszczególnych rzek z terminami połowy odpływu pozostałych rzek w badanym zbiorze.

Rys. 37. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 38. Korelacja między współczynnikami zmienności wskaźnika koncentracji odpływu (CV_{GMO}) i średnimi wieloletnimi wskaźnikami koncentracji odpływu (GMO_{sr}) (A) oraz zróżnicowanie współczynnika zmienności CV_{GMO} w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010 (B).

Rys. 39. Zróżnicowanie rocznych wskaźników koncentracji odpływu (GMO_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 40. Zróżnicowanie najniższych (GMO_{min}) – A i najwyższych (GMO_{max}) – B wskaźników koncentracji odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 41. Wieloletnie zmiany wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Rys. 42. Przestrzenne rozmieszczenie wieloletnich trendów wskaźników koncentracji odpływu (GMO) w badanym zbiorze rzek Polski w wieloleciu 1951–2010 (A) oraz przykłady statystycznie istotnych trendów GMO : B – trend malejący (Wda), C – trend rosnący (Parsęta).

Rys. 43. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona wskaźników koncentracji odpływu (r_{GMO}) poszczególnych rzek z wskaźnikami koncentracji odpływu pozostałych rzek w badanym zbiorze.

Rys. 44. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego indeksu sezonowości odpływu (IS_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 45. Zróżnicowanie (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie (B) średniego wieloletniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 46. Korelacja między współczynnikiem zmienności indeksu sezonowości odpływu (CV_{IS}) i średnim wieloletnim indeksem sezonowości odpływu (IS_{sr}) (A) oraz zróżnicowanie współczynnika zmienności IS (B) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 47. Korelacja między współczynnikiem zmienności wskaźnika pory koncentracji odpływu (CV_{WPK}) i średnim wieloletnim wskaźnikiem pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) (A) oraz zróżnicowanie współczynnika zmienności WPK w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010 (B).

Rys. 48. Zróżnicowanie rocznych indeksów sezonowości odpływu (IS_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 49. Zróżnicowanie najniższych (IS_{min} ; A) i najwyższych (IS_{max} ; B) indeksów sezonowości odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 50. Zróżnicowanie rocznych wskaźników pory koncentracji odpływu (WPK_j) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 51. Zróżnicowanie najwcześniejszych (WPK_{wcz} ; A) i najpóźniejszych ($WPK_{póz}$; B) wskaźników pory koncentracji odpływu w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Rys. 52. Wieloletnie zmiany indeksów sezonowości odpływu (IS_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Rys. 53. Przestrzenne rozmieszczenie wieloletnich trendów indeksów sezonowości przepływu (IS) badanym zbiorze rzek Polski w wieloleciu 1951–2010 (A) oraz przykłady statystycznie istotnych trendów IS : B – trend rosnący (Bóbr), C – trend malejący (Wieprz).

Rys. 54. Wieloletnie zmiany wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_j) w badanej grupie zlewni w latach 1960–2006.

Rys. 55. Przykłady statystycznie istotnych trendów wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK): A – trend malejący (Biebrza); B – trend rosnący (Rega).

Rys. 56. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r_{IS}) indeksów sezonowości przepływu poszczególnych rzek z indeksami sezonowości przepływu pozostałych rzek w badanym zbiorze.

Rys. 57. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r_{WPK}) wskaźników pory koncentracji odpływu poszczególnych zlewni ze wskaźnikami pory koncentracji odpływu pozostałych zlewni badanego zbioru.

Rys. 58. Korelacja średniego wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_{sr}) i średniego indeksu sezonowości (IS_{sr}) (A) oraz średniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) i średniego terminu połowy odpływu (TPO_{sr}) (B) badanych zlewni Polski.

Rys. 59. Korelacja średniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) i średniego wskaźnika koncentracji odpływu (GMO_{sr}) (A) oraz średniego wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK_{sr}) i średniego indeksu sezonowości odpływu (IS_{sr}) (B) badanych zlewni Polski.

Rys. 60. Typy sezonowości odpływu (A) oraz przestrzenne rozmieszczenie zlewni o różnym charakterze sezonowej struktury odpływu (B).

Rys. 61. Przestrzenne rozmieszczenie średniej liczby wystąpień pojedynczego sezonu hydrologicznego w ciągu roku w badanej grupie rzek (A) oraz średnie roczne hydrogramy przepływu Wdy (B) i Raby (C) wraz z wyróżnionymi sezonami hydrologicznymi.

Rys. 62. Sezony hydrologiczne w badanej grupie rzek Polski.

Rys. 63. Metoda wyznaczania przepływów charakterystycznych głównych pierwszego stopnia w obrębie dni tworzących dany sezon hydrologiczny na przykładzie sezonu 25 w Biebrzy po wodowskaz Burzyn w latach: 1959 (A), 2009 (B) i 2010 (C).

Spis załączników

Załącznik 1. Wykaz posterunków wodowskazowych oraz podstawowe dane o badanych rzekach i ich zlewniach.

Załącznik 2. Udział odpływu w poszczególnych miesiącach w sumie rocznej w grupie badanych zlewni.

Załącznik 3. Kierunki i liczba istotnych statystycznie trendów (test Manna–Kendalla; $\alpha=0,05$) w przepływach miesięcznych w grupie badanych rzek.

Załącznik 4. Wybrane miary położenia i dyspersji wieloletnich szeregów terminu połowy odpływu (*TPO*) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Załącznik 5. Statystycznie istotne (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) współczynniki korelacji liniowej terminu połowy odpływu danej rzeki z terminami połowy odpływu pozostałych rzek badanego zbioru (r_{TPO}).

Załącznik 6. Wybrane miary położenia i dyspersji wieloletnich szeregów wskaźnika koncentracji odpływu (*GMO*) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Załącznik 7. Statystycznie istotne (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) współczynniki korelacji liniowej wskaźnika koncentracji odpływu danej rzeki (r_{GMO}) ze wskaźnikami koncentracji odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru.

Załącznik 8. Wybrane miary położenia i dyspersji wieloletnich szeregów indeksu sezonowości (*IS*) i wskaźnika pory koncentracji odpływu (*WPK*) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

Załącznik 9. Statystycznie istotne współczynniki korelacji liniowej indeksu sezonowości (r_{IS}) i wskaźnika pory koncentracji odpływu (r_{WPK}) danej rzeki z indeksami sezonowości i wskaźnikami pory koncentracji odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru (test t–Studenta; $\alpha=0,05$).

Załącznik 1.

Wykaz posterunków wodowskazowych oraz podstawowe dane o badanych rzekach i ich zlewniach.

| Lp. | Wodowskaz | Okres obserwacji | A [km ²] | Region fiz. geogr. wg Kondrackiego (1998) | Typ reżimu rzecznego wg Wrzezińskiego (2013a) | Region hydrologiczno-fizjograficzny wg Soczyńskiej (1977) | Regionalizacja słodkich wód podziemnych wg Paczyńskiego i Sadurskiego (2007) | Regiony klimatyczne wg Wosia (Atlas RP, 1994) |
|-----|---------------------------------|------------------|----------------------|---|---|---|--|---|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. |
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 1956-2010 | 1 101 | Nizina Śląska | Niwalny średnio wykształcony | Nizina Śląska (część pd.-wsch.) | Środkowej Odry/SŚO południowy | Zachodniomałopolski |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 1951-2010 | 1 081 | Sudety Środkowe | Pluwialno-niwalny | Sudety | Środkowej Odry/subregion Sudetów | Obszary górskie |
| 3 | Oława – Oława | 1951-2010 | 936 | Nizina Śląska | Niwalno-pluwialny | Nizina Śląska (część pd.-wsch.) | Środkowej Odry/SŚO południowy | Dolnośląski Środkowy |
| 4 | Bystrzyca – Jarnałtów | 1959-2010 | 1 721 | Nizina Śląska | Niwalno-pluwialny | Sudety | Środkowej Odry/SŚO południowy | Dolnośląski Środkowy |
| 5 | Bóbr – Żagań | 1953-2010 | 4 255 | Nizina Sasko-Łużycka | Niwalny średnio wykształcony | Nizina Śląska (część płn.-zach.) | Środkowej Odry/SŚO południowy | Dolnośląski Zachodni |
| 6 | Warta – Działoszyn | 1951-2010 | 4 094 | Wyżyna Woźnicko-Wieluńska | Niwalny średnio wykształcony | Wyżyna Krakowsko-Częstochowska i Wyżyna Śląska | Warty/subregion Warty wyżynny | Zachodniomałopolski |
| 7 | Proсна – Bogusław | 1951-2010 | 4 282 | Nizina Południowowielkopolska | Niwalny średnio wykształcony | Nizina Wschodniowielkopolska | Warty/subregion Warty nizinny | Południowowielkopolski |
| 8 | Wełna – Pruśce | 1951-2006 | 1 146 | Pojezierze Wielkopolskie | Niwalny silnie wykształcony | Pojezierze Wielkopolskie (wschodnie) | Warty/subregion Warty nizinny | Środkowowielkopolski |
| 9 | Gwda – Ptusza | 1959-2006 | 2 052 | Pojezierze Południowopomorskie | Niwalny średnio wykształcony | Pojezierze Pomorskie (zachodnie) | Warty/subregion Warty nizinny | Środkowopomorski |
| 10 | Drawa – Drawiny | 1960-2010 | 3 281 | Pojezierze Południowopomorskie | Niwalny średnio wykształcony | Pojezierze Pomorskie (zachodnie) | Warty/subregion Warty nizinny | Środkowopomorski |
| 11 | Ina – Goleniów | 1956-2010 | 2 138 | Pobrzeże Szczecińskie | Niwalny średnio wykształcony | Nizina Szczecińska | Dolnej Odry i Zalewu Szczecińskiego | Zachodniopomorski |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 1958-2010 | 2 006 | Wyżyna Śląska | Niwalny słabo wykształcony | Wyżyna Krakowsko-Częstochowska i Wyżyna Śląska | Środkowej Wisły/subregion środkowej Wisły wyżynny część zachodnia | Śląsko-Karkowski |

| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. |
|----|--------------------------------|-------------|-------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|---|----------------------|
| 13 | Soła – Oświęcim | 1958-2010 | 1 357 | Beskidy Zachodnie | Pluwialno-niwalny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Śląsko-Karkowski |
| 14 | Skawa – Wadowice | 1958-2010 | 833 | Beskidy Zachodnie | Niwalno-pluwialny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Obszary górskie |
| 15 | Raba – Proszówki | 1956-2010 | 1 473 | Beskidy Zachodnie | Niwalno-pluwialny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Śląsko-Karkowski |
| 16 | Poprad – Muszyna | 1951-2006 | 1 519 | Beskidy Zachodnie | Pluwialno-niwalny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Obszary górskie |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 1956-2010 | 4 337 | Beskidy Zachodnie | Pluwialno-niwalny | Karpaty | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Obszary górskie |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 1951-2010 | 955 | Pogórze Środkowobeskidzkie | Niwalno-pluwialny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Tarnowsko-Rzeszowski |
| 19 | Nida – Pińczów | 1958-2010 | 3 323 | Niecka Nidziańska | Niwalny średnio wykształcony | Wyżyna Małopolska | Środkowej Wisły/subregion środkowej Wisły wyżynny część centralna | Zachodniomałopolski |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 1956-2010* | 3 888 | Pogórze Środkowobeskidzkie | Niwalno-pluwialny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Tarnowsko-Rzeszowski |
| 21 | San – Lesko | 1956-2010** | 1 617 | Beskidy Lesiste | Niwalno-pluwialny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Obszary górskie |
| 22 | Wisłok – Trynca | 1957-2010 | 3 524 | Pogórze Środkowobeskidzkie | Niwalno-pluwialny | Karpaty i Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion Karpat zewnętrznych | Tarnowsko-Rzeszowski |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 1958-2006 | 2 035 | Kotlina Sandomierska | Niwalny średnio wykształcony | Północne Podkarpacie | Górnej Wisły/subregion zapadliska przedkarpackiego | Zamojsko-Przemyski |
| 24 | Kamienna – Kunów | 1958-2010 | 1 110 | Wyżyna Kielecka | Niwalny średnio wykształcony | Wyżyna Małopolska | Środkowej Wisły/subregion środkowej Wisły wyżynny część centralna | Wschodniomałopolski |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | 1956-2010 | 3 010 | Wyżyna Lubelska | Niwalny średnio wykształcony | Wyżyna Lubelska i Roztocze | Środkowej Wisły/subregion środkowej Wisły wyżynny część wschodnia | Zamojsko-Przemyski |

| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. |
|----|-------------------------------|-----------|-------|-----------------------------------|------------------------------|---|---|---------------------|
| 26 | Pilica – Przedbórz | 1951-2010 | 2 550 | Wyżyna Przedborska | Niwalny średnio wykształcony | Wyżyna Małopolska | Środkowej Wisły/subregion środkowej Wisły wyżynny część centralna | Zachodniomałopolski |
| 27 | Narew – Suraz | 1956-2010 | 3 425 | Nizina Północnopodlaska | Niwalny silnie wykształcony | Kotlina Biebrzy i dolina Narwi | Narwi, Pregoty i Niemna | Mazursko-Podlaski |
| 28 | Biebrza – Burzyn | 1953-2010 | 6 929 | Nizina Północnopodlaska | Niwalny silnie wykształcony | Kotlina Biebrzy i dolina Narwi | Narwi, Pregoty i Niemna | Mazursko-Podlaski |
| 29 | Pisa – Ptaki | 1959-2006 | 3 576 | Pojezierze Mazurskie | Niwalny słabo wykształcony | Pojezierze Wielkich Jezior Mazurskich | Narwi, Pregoty i Niemna | Środkowomazurski |
| 30 | Liwiec – Łochów | 1957-2010 | 2 471 | Nizina Południowopodlaska | Niwalny silnie wykształcony | Wysoczyzna Siedlecka | Bugu/subregion Bugu nizinnego | Podlasko-Poleski |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 1951-2006 | 6 258 | Nizina Środkowomazowiecka | Niwalny silnie wykształcony | Kotlina Warszawska | Środkowej Wisły/subregion środkowej Wisły nizinny | Środkowopolski |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 1959-2010 | 5 019 | Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie | Niwalny średnio wykształcony | Pojezierze Iławsko-Chełmińsko-Dobrzyńskie | Dolnej Wisły/subregion pojezierny | Zachodniomazurski |
| 33 | Brda – Tuchola | 1959-2010 | 2 477 | Pojezierze Południowopomorskie | Niwalny słabo wykształcony | Pojezierze Pomorskie (wschodnie) | Dolnej Wisły/subregion pojezierny | Wschodniopomorski |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 1959-2006 | 828 | Pojezierze Południowopomorskie | Niwalny słabo wykształcony | Pojezierze Pomorskie (wschodnie) | Dolnej Wisły/subregion pojezierny | Wschodniopomorski |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 1959-2010 | 2 644 | Pobrzeże Szczecińskie | Niwalny średnio wykształcony | Nizina Szczecińska | Zachodniopomorski | Środkowopomorski |
| 36 | Parsęta – Bardy | 1957-2010 | 2 885 | Pobrzeże Koszalińskie | Niwalny średnio wykształcony | Pobrzeże Słowińskie | Zachodniopomorski | Środkowopomorski |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 1951-2010 | 1 542 | Pobrzeże Koszalińskie | Niwalny słabo wykształcony | Pojezierze Drawskie i Pojezierze Kaszubskie | Zachodniopomorski | Wschodniopomorski |
| 38 | Słupia – Słupsk | 1956-2010 | 1 453 | Pojezierze Zachodniopomorskie | Niwalny słabo wykształcony | Pojezierze Drawskie i Pojezierze Kaszubskie | Wschodniopomorski | Wschodniopomorski |
| 39 | Łupawa – Smołdzino | 1951-2010 | 807 | Pobrzeże Koszalińskie | Niwalny słabo wykształcony | Pobrzeże Słowińskie | Wschodniopomorski | Wschodniopomorski |
| 40 | Łyna – Sępól | 1959-2010 | 3 640 | Pojezierze Mazurskie | Niwalny średnio wykształcony | Pojezierze Olsztyńskie | Narwi, Pregoty i Niemna | Północnomazurski |

Objaśnienia: A – powierzchnia zlewni [km²]; * - brak danych w 1992 roku; ** - brak danych w 1959 roku.

Załącznik 2.

Udział odpływu w poszczególnych miesiącach w sumie rocznej w grupie badanych zlewni.

| L.p. | Wodowskaz | Udział odpływu w poszczególnych miesiącach w sumie rocznej [%] | | | | | | | | | | | | Udział odpływu miesięcy półrocza chłodnego i półrocza ciepłego w odpływie rocznym [%] | |
|------|---------------------------------|--|-------|------|--------|--------|------|--------|--------|--------|-------|-------|------|---|--------|
| | | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI – IV | V – X |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. |
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 6,6 | 8,1 | 9,2 | 10,5 | 13,7 | 10,8 | 8,1 | 7,1 | 7,5 | 6,5 | 5,9 | 5,9 | 58,9 | 41,1 |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 6,1 | 7,3 | 7,4 | 7,5 | 11,6 | 13,5 | 10,4 | 8,2 | 9,4 | 7,2 | 6,0 | 5,4 | 53,4 | 46,6 |
| 3 | Oława – Oława | 7,2 | 8,1 | 9,0 | 10,3 | 12,3 | 9,1 | 8,1 | 7,8 | 8,8 | 7,0 | 6,1 | 6,1 | 56,0 | 44,0 |
| 4 | Bystrzyca – Jarnaltów | 6,6 | 8,0 | 7,9 | 8,5 | 11,0 | 10,6 | 9,8 | 8,2 | 8,4 | 9,1** | 6,1 | 5,8 | 52,6 | 47,4 |
| 5 | Bóbr – Żagań | 6,4 | 7,8 | 8,7 | 9,6 | 11,6 | 12,0 | 10,0 | 7,3 | 8,1 | 6,9 | 6,0 | 5,6 | 56,1 | 43,9 |
| 6 | Warta – Działoszyn | 7,5 | 8,2 | 8,6 | 9,9 | 11,8 | 10,7 | 8,4 | 7,4 | 7,3 | 7,0 | 6,4 | 6,8 | 56,7 | 43,3 |
| 7 | Proсна – Bogusław | 7,1 | 9,2 | 10,5 | 12,7** | 15,2 | 11,8 | 7,5 | 5,2* | 5,4 | 5,2 | 4,7 | 5,6 | 66,5 | 33,5 |
| 8 | Wełna – Prusce | 6,2 | 8,6 | 10,4 | 11,6 | 14,7 | 15,4 | 10,5 | 5,4 | 4,4 | 4,3 | 3,9 | 4,5* | 66,9 | 33,1 |
| 9 | Gwda – Ptusza | 7,7 | 8,6 | 9,2 | 9,7 | 10,5 | 10,5 | 9,3 | 7,7 | 7,1 | 6,6 | 6,6 | 6,7 | 56,1 | 43,9 |
| 10 | Drawa – Drawiny | 8,2** | 9,1 | 9,4 | 10,0 | 10,5 | 10,3 | 8,9 | 7,3 | 6,4 | 6,0 | 6,5 | 7,3 | 57,5 | 42,5 |
| 11 | Ina – Goleniów | 7,5 | 9,5** | 10,2 | 11,7 | 13,0 | 11,4 | 8,3 | 6,0 | 5,4 | 5,1 | 5,7 | 6,2 | 63,2 | 36,8 |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 7,8 | 8,1 | 8,2 | 8,8 | 9,5* | 9,2 | 8,5 | 8,4 | 8,5 | 8,0 | 7,7** | 7,5 | 51,5 | 48,5 |
| 13 | Soła – Oświęcim | 5,2 | 5,5 | 6,7 | 7,9 | 11,7 | 11,9 | 8,9 | 11,0 | 11,9 | 7,3 | 7,1 | 5,0 | 49,0 | 51,0 |
| 14 | Skawa – Wadowice | 5,5 | 6,7 | 6,9 | 8,2 | 12,6 | 12,4 | 8,8 | 10,3 | 10,2 | 7,3 | 6,3 | 4,9 | 52,3 | 47,7 |
| 15 | Raba – Proszówki | 4,9* | 6,1 | 6,6 | 8,0 | 13,2 | 13,1 | 8,7 | 10,2 | 10,5 | 7,9 | 6,2 | 4,6 | 51,9 | 48,1 |
| 16 | Poprad – Muszyna | 5,3 | 4,7* | 3,9* | 5,0 | 10,1 | 14,3 | 12,7** | 12,3 | 11,4 | 8,6 | 5,9 | 5,6 | 43,4 | 56,6 |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 5,1 | 4,8 | 4,1 | 4,9* | 10,0 | 13,6 | 11,9 | 12,4** | 12,1** | 8,6 | 6,7 | 5,6 | 42,6* | 57,4** |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 5,3 | 6,5 | 6,3 | 8,7 | 15,1 | 13,4 | 9,1 | 10,0 | 9,6 | 6,9 | 4,5* | 4,5* | 55,4 | 44,6 |
| 19 | Nida – Pińczów | 6,8 | 7,9 | 8,3 | 10,1 | 13,7 | 11,8 | 7,8 | 7,1 | 7,3 | 6,7 | 6,0 | 6,5 | 58,5 | 41,5 |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 5,8 | 7,2 | 6,4 | 9,0 | 15,6 | 13,9 | 9,2 | 8,8 | 8,5 | 6,2 | 4,8 | 4,8 | 57,8 | 42,2 |
| 21 | San – Lesko | 6,6 | 6,5 | 5,9 | 7,4 | 10,4 | 16,1 | 11,7 | 10,0 | 8,8 | 5,7 | 5,5 | 5,4 | 52,9 | 47,1 |
| 22 | Wisłok – Tryńcza | 5,7 | 7,3 | 7,3 | 10,2 | 16,1** | 13,4 | 8,7 | 8,1 | 7,7 | 5,6 | 5,0 | 4,9 | 60,0 | 40,0 |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 7,5 | 8,1 | 8,1 | 10,3 | 14,1 | 12,8 | 7,7 | 6,9 | 6,7 | 5,9 | 5,3 | 6,8 | 60,8 | 39,2 |
| 24 | Kamienna – Kunów | 6,5 | 7,5 | 7,9 | 10,0 | 14,6 | 13,3 | 7,8 | 7,2 | 8,3 | 6,1 | 5,4 | 5,5 | 59,7 | 40,3 |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | 7,9 | 8,1 | 7,5 | 8,5 | 11,6 | 12,7 | 8,3 | 7,5 | 7,0 | 6,6 | 6,5 | 7,8 | 56,2 | 43,8 |
| 26 | Pilica – Przedbórz | 7,7 | 8,4 | 8,2 | 9,4 | 12,1 | 11,3 | 8,1 | 7,3 | 7,2 | 6,9 | 6,3 | 7,2 | 57,1 | 42,9 |
| 27 | Narew – Suraz | 6,9 | 8,0 | 7,8 | 8,5 | 14,2 | 18,3 | 9,2 | 6,2 | 5,1 | 5,0 | 4,8 | 5,8 | 63,8 | 36,2 |

| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. |
|----|---------------------------|-----|-----|---------------|------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|--------------|---------------|--------------|
| 28 | Biebrza – Burzyn | 7,3 | 8,1 | 7,6 | 8,8 | 13,1 | 16,3** | 10,5 | 6,9 | 4,9 | 4,8 | 5,1 | 6,5 | 61,3 | 38,7 |
| 29 | Pisa – Ptaki | 7,3 | 8,0 | 8,8 | 9,3 | 10,6 | 10,6 | 9,8 | 8,2 | 7,1 | 6,7 | 6,7 | 6,9 | 54,6 | 45,4 |
| 30 | Liwiec – Łochów | 7,5 | 9,3 | 8,9 | 11,1 | 15,9 | 14,9 | 7,0 | 5,2* | 4,4* | 4,2* | 4,8 | 6,8 | 67,6** | 32,4* |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 7,6 | 8,8 | 9,4 | 11,4 | 15,3 | 12,7 | 7,1 | 5,4 | 5,5 | 5,2 | 5,1 | 6,5 | 65,2 | 34,8 |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 7,7 | 8,7 | 9,6 | 10,3 | 11,4 | 11,8 | 9,1 | 6,7 | 6,1 | 6,0 | 6,1 | 6,8 | 59,3 | 40,7 |
| 33 | Brda – Tuchola | 9,0 | 9,5 | 9,4 | 9,6 | 9,8 | 9,4 | 8,2 | 6,9 | 6,3 | 6,4 | 7,4 | 8,1 | 56,6 | 43,4 |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 8,8 | 9,6 | 9,4 | 9,5 | 9,5* | 9,1 | 8,2 | 7,4 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 7,6 | 55,9 | 44,1 |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 9,3 | 9,9 | 10,9** | 10,9 | 9,9 | 8,2* | 6,9* | 5,9 | 6,1 | 6,2 | 7,5 | 8,4** | 59,1 | 40,9 |
| 36 | Parsęta – Bardy | 8,3 | 9,5 | 9,6 | 10,5 | 11,1 | 9,9 | 7,8 | 6,6 | 6,8 | 6,2 | 6,7 | 7,0 | 58,9 | 41,1 |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 9,0 | 9,6 | 9,5 | 9,6 | 10,1 | 9,1 | 7,6 | 6,6 | 6,8 | 6,7 | 7,3 | 8,1 | 56,9 | 43,1 |
| 38 | Słupia – Słupsk | 8,9 | 9,3 | 9,2 | 9,3 | 9,7 | 9,2 | 7,8 | 6,9 | 7,1 | 7,0 | 7,6 | 8,1 | 55,6 | 44,4 |
| 39 | Łupawa – Smóldzino | 9,0 | 9,1 | 9,2 | 9,3 | 9,5* | 8,9 | 7,9 | 7,3 | 7,1 | 7,0 | 7,5 | 8,3 | 54,9 | 45,1 |
| 40 | Łyna – Sępól | 8,4 | 9,4 | 9,1 | 10,2 | 12,6 | 12,8 | 8,4 | 6,1 | 5,3 | 5,2 | 5,8 | 6,6 | 62,6 | 37,4 |

Objaśnienia: Zaznaczono miesięczne i półroczne maksima [******] i minima [*****] w zbiorze.

| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | |
|----|---------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | NQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 0 | 0 | 0 | |
| | | SQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 0 | | 0 |
| | | WQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 0 | | 0 |
| 33 | Brda – Tuchola | NQ _m | -1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | -1 | ○ | ○ | -1 | -1 | 0 | 4 | 16 | |
| | | SQ _m | -1 | -1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | -1 | ○ | ○ | -1 | -1 | 0 | | 5 |
| | | WQ _m | -1 | -1 | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | -1 | ○ | -1 | -1 | -1 | 1 | | 6 |
| 34 | Wda – Czarna Woda | NQ _m | -1 | -1 | -1 | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | 1 | ○ | 4 | 3 | 21 | |
| | | SQ _m | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | -1 | 1 | | 7 |
| | | WQ _m | -1 | -1 | -1 | -1 | ○ | -1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | -1 | 0 | | 6 |
| 35 | Rega – Trzebiatów | NQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | ○ | ○ | -1 | ○ | ○ | 3 | 1 | 13 | |
| | | SQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | ○ | ○ | ○ | -1 | ○ | -1 | 3 | | 2 |
| | | WQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | -1 | -1 | 2 | | 2 |
| 36 | Parsęta – Bardy | NQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | 0 | 3 | |
| | | SQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | | 0 |
| | | WQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | | 0 |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | NQ _m | 1 | ○ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11 | 0 | 18 | |
| | | SQ _m | 1 | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | 6 | | 0 |
| | | WQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | | 0 |
| 38 | Słupia – Słupsk | NQ _m | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | ○ | ○ | 6 | 0 | 11 | |
| | | SQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 2 | | 0 |
| | | WQ _m | ○ | -1 | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | -1 | ○ | 1 | | 2 |
| 39 | Łupawa – Smółdzino | NQ _m | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | 1 | ○ | 1 | 1 | 1 | 1 | ○ | 8 | 0 | 21 | |
| | | SQ _m | ○ | ○ | 1 | 1 | 1 | 1 | ○ | 1 | 1 | 1 | 1 | ○ | 8 | 0 | | |
| | | WQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | ○ | 1 | 1 | ○ | 1 | 1 | 5 | 0 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. |
| 40 | Łyna – Sępopol | NQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 | 0 | 3 |
| | | SQ _m | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 0 | 0 | |
| | | WQ _m | ○ | ○ | 1 | 1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 2 | 0 | |

Objaśnienia: 1 – istotny trend rosnący, -1 – istotny trend malejący, ○ - trend nieistotny statystycznie; Statystyczna istotność trendów oceniana testem Manna–Kendalla na poziomie $\alpha=0,05$.

| Liczba istotnych trendów w szeregach miesięcznych przepływów | | Miesiąc | | | | | | | | | | | | Suma | |
|---|-----------------|---------|-----|----|----|-----|----|----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|
| | | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | 15. | 16. |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. |
| NQ _m | trendy malejące | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 2 | 32 | 165 |
| | trendy rosnące | 9 | 8 | 14 | 16 | 21 | 10 | 11 | 12 | 9 | 7 | 7 | 9 | 133 | |
| SQ _m | trendy malejące | 2 | 5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 7 | 7 | 4 | 4 | 38 | 114 |
| | trendy rosnące | 7 | 2 | 10 | 9 | 13 | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 | 8 | 7 | 76 | |
| WQ _m | trendy malejące | 2 | 10 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 8 | 5 | 5 | 4 | 52 | 98 |
| | trendy rosnące | 4 | 1 | 8 | 3 | 9 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 9 | 4 | 46 | |
| Suma | trendy malejące | 8 | 17 | 4 | 4 | 4 | 6 | 9 | 11 | 19 | 17 | 13 | 10 | 122 | 377 |
| | trendy rosnące | 20 | 11 | 32 | 28 | 43 | 18 | 16 | 19 | 14 | 10 | 24 | 20 | 255 | |
| | razem | | 28 | 28 | 36 | 32 | 47 | 24 | 25 | 30 | 33 | 27 | 37 | 30 | - |

Załącznik 4.

Wybrane miary położenia i dyspersji wieloletnich szeregów terminu połowy odpływu (TPO) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

| Lp. | Wodowskaz | TPO_{sr} (data) [dzień] | TPO_{wcz} (rok) [dzień] | $TPO_{póz}$ (rok) [dzień] | CV_{TPO} [%] |
|----------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 162 (11.04.) | 92 ₍₁₉₈₂₎ | 270 ₍₁₉₆₀₎ | 21,9 |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 178 (27.04.) | 108 ₍₂₀₀₃₎ | 249 ₍₁₉₉₇₎ | 17,1 |
| 3 | Oława – Oława | 164 (13.04.) | 103 ₍₁₉₅₃₎ | 254 ₍₁₉₉₇₎ | 18,2 |
| 4 | Bystrzyca – Jarnałtów | 176 (25.04.) | 90 ₍₂₀₀₈₎ | 274 ₍₂₀₀₁₎ | 22,9 |
| 5 | Bóbr – Żagań | 168 (17.04.) | 92 ₍₁₉₈₂₎ | 264 ₍₁₉₈₁₎ | 20,4 |
| 6 | Warta – Działoszyn | 164 (13.04.) | 115 ₍₁₉₅₃₎ | 252 ₍₁₉₉₇₎ | 15,6 |
| 7 | Prosna – Bogusław | 146 (26.03.) | 73 ₍₁₉₇₅₎ | 259 ₍₁₉₉₇₎ | 22,1 |
| 8 | Wełna – Prusce | 151 (31.03.) | 81 ₍₁₉₇₅₎ | 252 ₍₁₉₈₀₎ | 19,9 |
| 9 | Gwda – Ptusza | 165 (14.04.) | 122 ₍₁₉₇₅₎ | 220 ₍₁₉₈₀₎ | 11,7 |
| 10 | Drawa – Drawiny | 161 (10.04.) | 130 ₍₁₉₇₅₎ | 192 ₍₁₉₈₀₎ | 7,2 |
| 11 | Ina – Goleniów | 148 (28.03.) | 94 ₍₁₉₇₅₎ | 191 ₍₁₉₉₆₎ | 12,5 |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 178 (27.04.) | 142 ₍₁₉₈₂₎ | 227 ₍₁₉₆₀₎ | 10,2 |
| 13 | Soła – Oświęcim | 190 (9.05.) | 116 ₍₁₉₉₂₎ | 276 ₍₁₉₉₆₎ | 21,9 |
| 14 | Skawa – Wadowice | 180 (29.04.) | 128 ₍₂₀₀₈₎ | 282 ₍₁₉₉₆₎ | 19,8 |
| 15 | Raba – Proszówki | 185 (4.05.) | 118 ₍₁₉₈₂₎ | 295 ₍₁₉₉₆₎ | 22,4 |
| 16 | Poprad – Muszyna | 199 (18.05.) | 160 ₍₁₉₇₇₎ | 256 ₍₁₉₈₀₎ | 13,7 |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 202 (21.05.) | 163 ₍₁₉₇₇₎ | 265 ₍₁₉₉₆₎ | 12,9 |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 177 (26.04.) | 110 ₍₁₉₆₁₎ | 271 ₍₂₀₀₄₎ | 22,9 |
| 19 | Nida – Pińczów | 163 (12.04.) | 120 ₍₁₉₆₁₎ | 271 ₍₁₉₆₀₎ | 20,7 |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 170 (19.04.) | 97 ₍₁₉₆₁₎ | 260 ₍₁₉₈₀₎ | 20,5 |
| 21 | San – Lesko | 180 (29.04.) | 93 ₍₁₉₆₁₎ | 251 ₍₁₉₈₀₎ | 15,2 |
| 22 | Wisłok – Tryńcza | 166 (15.04.) | 84 ₍₁₉₆₁₎ | 263 ₍₁₉₈₀₎ | 22,3 |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 157 (6.04.) | 120 ₍₁₉₇₅₎ | 236 ₍₁₉₈₀₎ | 15,6 |
| 24 | Kamienna – Kunów | 165 (14.04.) | 117 _(1961; 1971) | 271 ₍₁₉₉₆₎ | 23,4 |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | 167 (16.04.) | 127 ₍₁₉₅₇₎ | 231 ₍₁₉₈₀₎ | 12,7 |
| 26 | Pilica – Przedbórz | 167 (16.04.) | 115 ₍₁₉₅₃₎ | 262 ₍₁₉₆₀₎ | 18,8 |
| 27 | Narew – Suraż | 158 (7.04.) | 94 ₍₁₉₇₅₎ | 262 ₍₁₉₆₀₎ | 20,8 |
| 28 | Biebrza – Burzyn | 161 (10.04.) | 82 ₍₁₉₇₅₎ | 254 ₍₁₉₇₄₎ | 16,4 |
| 29 | Pisa – Ptaki | 170 (19.04.) | 130 ₍₁₉₇₃₎ | 248 ₍₁₉₇₂₎ | 14,7 |
| 30 | Liwiec – Łochów | 148 (28.03.) | 71 ₍₁₉₇₅₎ | 252 ₍₁₉₇₄₎ | 20,4 |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 149 (29.03.) | 76 ₍₁₉₇₅₎ | 264 ₍₁₉₆₀₎ | 20,7 |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 159 (8.04.) | 111 ₍₁₉₇₅₎ | 229 ₍₁₉₈₀₎ | 13,2 |
| 33 | Brda – Tuchola | 161 (10.04.) | 141 _(1971; 1982) | 193 ₍₁₉₈₀₎ | 8,2 |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 163 (12.04.) | 121 ₍₁₉₅₉₎ | 225 ₍₁₉₈₀₎ | 11,5 |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 152 (1.04.) | 109 ₍₁₉₈₂₎ | 214 ₍₁₉₇₈₎ | 15,3 |
| 36 | Parsęta – Bardy | 156 (5.04.) | 103 ₍₁₉₇₅₎ | 214 ₍₁₉₈₀₎ | 13,4 |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 160 (9.04.) | 113 ₍₁₉₇₅₎ | 204 ₍₂₀₀₁₎ | 10,9 |
| 38 | Stupia – Stupsk | 164 (13.04.) | 131 ₍₁₉₈₂₎ | 204 ₍₁₉₈₀₎ | 8,7 |
| 39 | Łupawa – Smóldzino | 166 (15.04.) | 135 ₍₁₉₇₅₎ | 195 _(1980; 2001) | 7,5 |
| 40 | Łyna – Sępól | 152 (1.04.) | 83 ₍₁₉₇₅₎ | 204 ₍₁₉₇₂₎ | 16,0 |
| średnia | | 166 (15.04.) | – | – | 16,5 |

Objaśnienia: TPO_{sr} – średni wieloletni termin połowy odpływu; $TPO_{wcz(rok)}$ – najwcześniejszy termin połowy odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; $TPO_{póz}$ – najpóźniejszy termin połowy odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; CV_{TPO} – współczynnik zmienności wieloletniej terminu połowy odpływu.

Załącznik 5.

Statystycznie istotne (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) współczynniki korelacji liniowej terminu połowy odpływu danej rzeki z terminami połowy odpływu pozostałych rzek badanego zbioru (r_{TPO}).

| Lp. | Wodowskaz | Liczba dodatnich, statystycznie istotnych r_{TPO} | $MAXr_{TPO}$ (rzeka) |
|-------------|---------------------------------|---|----------------------|
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 35 | 0,892 (Warta) |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 38 | 0,603 (Oława) |
| 3 | Oława – Oława | 35 | 0,615 (Prosna) |
| 4 | Bystrzyca – Jarnaltów | 25 | 0,650 (Bóbr) |
| 5 | Bóbr – Żagań | 25 | 0,650 (Bystrzyca) |
| 6 | Warta – Działoszyn | 39 | 0,892 (Mała Panew) |
| 7 | Prosna – Bogusław | 39 | 0,808 (Warta) |
| 8 | Wełna – Prusce | 32 | 0,810 (Gwda) |
| 9 | Gwda – Ptusza | 38 | 0,917 (Brda) |
| 10 | Drawa – Drawiny | 35 | 0,853 (Gwda) |
| 11 | Ina – Goleniów | 32 | 0,810 (Parsęta) |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 36 | 0,891 (Pilica) |
| 13 | Soła – Oświęcim | 38 | 0,886 (Skawa) |
| 14 | Skawa – Wadowice | 34 | 0,892 (Raba) |
| 15 | Raba – Proszówki | 35 | 0,892 (Skawa) |
| 16 | Poprad – Muszyna | 37 | 0,947 (Dunajec) |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 37 | 0,947 (Poprad) |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 36 | 0,912 (Wisłoka) |
| 19 | Nida – Pińczów | 35 | 0,904 (Pilica) |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 37 | 0,974 (Wisłok) |
| 21 | San – Lesko | 36 | 0,852 (Wisłoka) |
| 22 | Wisłok – Tryńcza | 37 | 0,974 (Wisłoka) |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 38 | 0,819 (Wieprz) |
| 24 | Kamienna – Kunów | 39 | 0,850 (Pilica) |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | 38 | 0,819 (Tanew) |
| 26 | Pilica – Przedbórz | 38 | 0,904 (Nida) |
| 27 | Narew – Suraz | 36 | 0,925 (Liwiec) |
| 28 | Biebrza – Burzyn | 39 | 0,932 (Liwiec) |
| 29 | Pisa – Ptaki | 33 | 0,763 (Łyna) |
| 30 | Liwiec – Łochów | 39 | 0,932 (Biebrza) |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 39 | 0,826 (Drwęca) |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 39 | 0,826 (Bzura) |
| 33 | Brda – Tuchola | 38 | 0,916 (Gwda) |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 29 | 0,672 (Słupia) |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 35 | 0,706 (Wieprza) |
| 36 | Parsęta – Bardy | 38 | 0,875 (Wieprza) |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 39 | 0,937 (Słupia) |
| 38 | Słupia – Słupsk | 39 | 0,937 (Wieprza) |
| 39 | Łupawa – Smóldzino | 39 | 0,846 (Słupia) |
| 40 | Łyna – Sępól | 38 | 0,825 (Drwęca) |
| SUMA | | 1444 | - |

Objaśnienia: $MAXr_{TPO}$ (rzeka) – najwyższy, dodatni i statystycznie istotny (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) współczynnik korelacji liniowej terminu połowy odpływu danej rzeki z terminami połowy odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru.

Załącznik 6.

Wybrane miary położenia i dyspersji wieloletnich szeregów wskaźnika koncentracji odpływu (*GMO*) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

| Lp. | Wodowskaz | GMO_{sr} | $GMO_{\text{min(rok)}}$ | $GMO_{\text{max(rok)}}$ | CV_{GMO} [%] |
|----------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 11,04 | 8,65 ₍₁₉₉₀₎ | 20,28 ₍₁₉₉₇₎ | 17,7 |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 11,45 | 8,94 ₍₁₉₇₈₎ | 22,09 ₍₁₉₉₇₎ | 19,0 |
| 3 | Oława – Oława | 10,50 | 8,36 ₍₁₉₉₀₎ | 16,16 ₍₁₉₉₇₎ | 18,0 |
| 4 | Bystrzyca – Jarnałtów | 11,99 | 8,81 ₍₁₉₉₈₎ | 27,90 ₍₁₉₉₇₎ | 25,5 |
| 5 | Bóbr – Żagań | 10,64 | 8,75 ₍₁₉₅₉₎ | 16,25 ₍₁₉₉₇₎ | 12,5 |
| 6 | Warta – Działoszyn | 9,58 | 8,43 ₍₁₉₈₄₎ | 13,85 ₍₁₉₉₇₎ | 8,8 |
| 7 | Prosna – Bogusław | 11,71 | 8,65 ₍₁₉₈₄₎ | 18,56 ₍₁₉₇₉₎ | 17,1 |
| 8 | Wełna – Pruśce | 11,97 | 8,74 ₍₁₉₉₃₎ | 23,00 ₍₁₉₇₀₎ | 21,3 |
| 9 | Gwda – Ptuśza | 8,94 | 8,41 ₍₁₉₉₆₎ | 10,36 ₍₁₉₇₀₎ | 4,5 |
| 10 | Drawa – Drawiny | 8,79 | 8,37 ₍₁₉₉₆₎ | 9,50 ₍₁₉₇₀₎ | 3,1 |
| 11 | Ina – Goleniów | 10,02 | 8,58 ₍₁₉₉₆₎ | 16,83 ₍₁₉₇₀₎ | 13,7 |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 8,63 | 8,34 ₍₁₉₉₀₎ | 9,76 ₍₁₉₉₇₎ | 3,0 |
| 13 | Soła – Oświęcim | 13,88 | 9,36 ₍₁₉₈₁₎ | 24,71 ₍₁₉₉₇₎ | 25,2 |
| 14 | Skawa – Wadowice | 12,28 | 9,57 ₍₁₉₇₈₎ | 19,98 ₍₁₉₉₆₎ | 19,0 |
| 15 | Raba – Proszówki | 13,39 | 9,33 ₍₁₉₅₇₎ | 24,03 ₍₁₉₆₀₎ | 23,6 |
| 16 | Poprad – Muszyna | 12,08 | 9,26 ₍₁₉₇₁₎ | 23,16 ₍₁₉₅₂₎ | 20,6 |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 11,90 | 9,36 ₍₁₉₉₈₎ | 17,23 ₍₁₉₆₀₎ | 17,3 |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 14,32 | 9,37 ₍₂₀₀₈₎ | 31,81 ₍₁₉₅₂₎ | 28,9 |
| 19 | Nida – Pińczów | 10,88 | 8,59 ₍₁₉₉₀₎ | 17,52 ₍₁₉₆₄₎ | 16,8 |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 12,84 | 8,92 ₍₂₀₀₈₎ | 23,24 ₍₁₉₆₄₎ | 18,6 |
| 21 | San – Lesko | 12,15 | 9,02 ₍₁₉₇₁₎ | 23,12 ₍₁₉₆₄₎ | 25,3 |
| 22 | Wisłok – Tryńcza | 13,45 | 9,08 ₍₂₀₀₈₎ | 38,44 ₍₁₉₆₄₎ | 35,9 |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 10,78 | 8,69 ₍₁₉₇₂₎ | 22,96 ₍₁₉₆₄₎ | 20,7 |
| 24 | Kamienna – Kunów | 12,34 | 8,98 ₍₁₉₉₀₎ | 27,15 ₍₁₉₆₀₎ | 23,5 |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | 9,84 | 8,50 ₍₂₀₀₁₎ | 25,61 ₍₁₉₆₄₎ | 26,0 |
| 26 | Pilica – Przedbórz | 9,94 | 8,65 ₍₁₉₇₈₎ | 12,79 ₍₂₀₀₆₎ | 8,6 |
| 27 | Narew – Suraz | 12,88 | 9,08 ₍₁₉₉₇₎ | 29,81 ₍₁₉₆₄₎ | 25,5 |
| 28 | Biebrza – Burzyn | 11,51 | 8,79 ₍₁₉₈₄₎ | 21,81 ₍₁₉₅₃₎ | 23,7 |
| 29 | Pisa – Ptaki | 9,14 | 8,48 ₍₁₉₈₅₎ | 10,77 ₍₁₉₆₆₎ | 5,8 |
| 30 | Liwiec – Łochów | 13,24 | 8,79 ₍₁₉₈₄₎ | 26,53 ₍₁₉₆₄₎ | 29,1 |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 11,82 | 8,91 ₍₁₉₅₅₎ | 22,31 ₍₁₉₇₉₎ | 19,8 |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 9,38 | 8,46 ₍₁₉₉₀₎ | 12,40 ₍₁₉₇₀₎ | 8,3 |
| 33 | Brda – Tuchola | 8,68 | 8,38 ₍₁₉₉₆₎ | 9,35 ₍₁₉₉₄₎ | 2,4 |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 8,70 | 8,36 ₍₁₉₉₁₎ | 9,55 ₍₁₉₆₈₎ | 3,4 |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 9,47 | 8,53 ₍₁₉₇₂₎ | 11,42 ₍₁₉₇₀₎ | 6,7 |
| 36 | Parsęta – Bardy | 9,35 | 8,48 ₍₁₉₉₁₎ | 11,51 ₍₁₉₇₀₎ | 6,7 |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 8,92 | 8,47 ₍₁₉₆₀₎ | 10,33 ₍₁₉₇₀₎ | 4,1 |
| 38 | Słupia – Słupsk | 8,68 | 8,42 ₍₁₉₉₁₎ | 9,27 ₍₁₉₈₂₎ | 2,3 |
| 39 | Łupawa – Smołdzino | 8,58 | 8,36 ₍₁₉₅₁₎ | 9,15 ₍₁₉₇₀₎ | 2,2 |
| 40 | Łyna – Sępól | 10,32 | 8,78 ₍₁₉₈₄₎ | 14,40 ₍₁₉₇₀₎ | 12,3 |
| średnia | | 10,90 | – | – | 15,7 |

Objaśnienia: GMO_{sr} – średni wieloletni wskaźnik koncentracji odpływu; GMO_{min} – najniższy wskaźnik koncentracji odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; GMO_{max} – najwyższy wskaźnik koncentracji odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; CV_{GMO} – współczynnik zmienności wieloletniej wskaźnika koncentracji odpływu.

Załącznik 7.

Statystycznie istotne (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) współczynniki korelacji liniowej wskaźnika koncentracji odpływu danej rzeki (r_{GMO}) ze wskaźnikami koncentracji odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru.

| Lp. | Wodowskaz | Liczba ujemnych, statystycznie istotnych $-r_{GMO}$ | $-r_{GMO}$ (rzeka) | Liczba dodatnich, statystycznie istotnych r_{GMO} | $MAXr_{GMO}$ (rzeka) |
|-------------|---------------------------------|---|--------------------|---|----------------------|
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 0 | - | 12 | 0,845 (Warta) |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 0 | - | 11 | 0,794 (Bystrzyca) |
| 3 | Oława – Oława | 0 | - | 11 | 0,787 (Bystrzyca) |
| 4 | Bystrzyca – Jarnaltów | 0 | - | 14 | 0,794 (Nysa Kłodzka) |
| 5 | Bóbr – Żagań | 0 | - | 9 | 0,737 (Warta) |
| 6 | Warta – Działoszyn | 0 | - | 12 | 0,845 (Mała Panew) |
| 7 | Prosna – Bogusław | 0 | - | 17 | 0,677 (Bzura) |
| 8 | Wełna – Prusce | 1 | -0,292 (Soła) | 18 | 0,796 (Drwęca) |
| 9 | Gwda – Ptusza | 0 | - | 17 | 0,851 (Drwęca) |
| 10 | Drawa – Drawiny | 1 | -0,306 (Raba) | 16 | 0,810 (Gwda) |
| 11 | Ina – Goleniów | 1 | -0,308 (Raba) | 18 | 0,795 (Drwęca) |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 0 | - | 14 | 0,726 (Warta) |
| 13 | Soła – Oświęcim | 4 | -0,363 (Słupia) | 12 | 0,825 (Raba) |
| 14 | Skawa – Wadowice | 1 | -0,342 (Słupia) | 11 | 0,810 (Raba) |
| 15 | Raba – Proszówki | 6 | -0,424 (Słupia) | 11 | 0,825 (Soła) |
| 16 | Poprad – Muszyna | 0 | - | 14 | 0,855 (Dunajec) |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 0 | - | 14 | 0,855 (Poprad) |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 0 | - | 16 | 0,783 (Wisłoka) |
| 19 | Nida – Pińczów | 0 | - | 24 | 0,788 (Pilica) |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 0 | - | 11 | 0,887 (Wisłok) |
| 21 | San – Lesko | 0 | - | 9 | 0,846 (Wisłok) |
| 22 | Wisłok – Trynca | 0 | - | 12 | 0,887 (Wisłoka) |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 0 | - | 12 | 0,913 (Wieprz) |
| 24 | Kamienna – Kunów | 0 | - | 12 | 0,631 (Raba) |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | 0 | - | 12 | 0,913 (Tanew) |
| 26 | Pilica – Przedbórz | 0 | - | 22 | 0,788 (Nida) |
| 27 | Narew – Suraz | 0 | - | 17 | 0,843 (Wieprz) |
| 28 | Biebrza – Burzyn | 0 | - | 21 | 0,802 (Liwiec) |
| 29 | Pisa – Ptaki | 0 | - | 14 | 0,487 (Łyna) |
| 30 | Liwiec – Łochów | 0 | - | 26 | 0,802 (Biebrza) |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 0 | - | 19 | 0,685 (Biebrza) |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 0 | - | 18 | 0,851 (Gwda) |
| 33 | Brda – Tuchola | 0 | - | 16 | 0,701 (Drawa) |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 1 | -0,308 (Soła) | 18 | 0,548 (Słupia) |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 1 | -0,300 (Raba) | 17 | 0,837 (Parsęta) |
| 36 | Parsęta – Bardy | 0 | - | 16 | 0,837 (Rega) |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 2 | -0,370 (Raba) | 16 | 0,922 (Słupia) |
| 38 | Słupia – Słupsk | 3 | -0,424 (Raba) | 16 | 0,922 (Wieprza) |
| 39 | Łupawa – Smóldzino | 1 | -0,327 (Raba) | 16 | 0,797 (Wieprza) |
| 40 | Łyna – Sępopol | 0 | - | 19 | 0,754 (Biebrza) |
| SUMA | | 22 | - | 610 | - |

Objaśnienia: $-r_{GMO}$ (rzeka) – ujemny, statystycznie istotny (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) współczynnik korelacji liniowej wskaźnika koncentracji odpływu danej rzeki, świadczący o największej sile „współkorelacji” ze wskaźnikami koncentracji odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru; $MAXr_{GMO}$ (rzeka) – najwyższy, dodatni i statystycznie istotny (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) współczynnik korelacji liniowej wskaźnika koncentracji odpływu danej rzeki ze wskaźnikami koncentracji odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru.

Załącznik 8.

Wybrane miary położenia i dyspersji wieloletnich szeregów indeksu sezonowości (IS) i wskaźnika pory koncentracji odpływu (WPK) w badanej grupie zlewni w wieloleciu 1951–2010.

| Lp. | Wodowskaz | IS_{sr} [%] | $IS_{min(rok)}$ [%] | $IS_{max(rok)}$ [%] | CV_{IS} [%] | $WPK_{sr}(data)$ [dzień od 1.11.] | $WPK_{wcz(rok)}$ [dzień 1.11.] | $WPK_{póz(rok)}$ [dzień od 1.11.] | CV_{WPK} [%] |
|-----|---------------------------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 25,3 | 1,8 ₍₁₉₇₇₎ | 46,7 ₍₁₉₆₇₎ | 43,4 | 141 (21.03.) | 26 ₍₁₉₇₈₎ | 362 ₍₁₉₇₄₎ | 44,9 |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 24,7 | 4,7 ₍₁₉₇₅₎ | 56,2 ₍₂₀₀₄₎ | 46,3 | 178 (27.04.) | 73 ₍₁₉₈₁₎ | 316 ₍₁₉₉₈₎ | 29,2 |
| 3 | Oława – Oława | 19,6 | 1,4 ₍₁₉₇₄₎ | 47,8 ₍₁₉₅₃₎ | 54,4 | 146 (26.03.) | 45 ₍₁₉₇₅₎ | 313 ₍₁₉₇₇₎ | 40,1 |
| 4 | Bystrzyca – Jarnaltów | 25,4 | 6,3 ₍₁₉₅₉₎ | 56,6 ₍₁₉₉₇₎ | 45,0 | 172 (21.04.) | 23 ₍₁₉₉₀₎ | 360 ₍₁₉₉₃₎ | 44,6 |
| 5 | Bóbr – Zagań | 24,1 | 7,4 ₍₁₉₇₄₎ | 42,0 ₍₁₉₉₂₎ | 37,6 | 161 (10.04.) | 55 ₍₁₉₅₇₎ | 295 ₍₁₉₆₄₎ | 32,9 |
| 6 | Warta – Działoszyn | 17,4 | 1,2 ₍₁₉₇₇₎ | 33,4 ₍₁₉₅₃₎ | 44,4 | 146 (26.03.) | 57 ₍₁₉₇₈₎ | 345 ₍₁₉₇₄₎ | 38,9 |
| 7 | Proсна – Bogusław | 31,8 | 0,7 ₍₁₉₈₄₎ | 61,5 ₍₁₉₅₃₎ | 38,3 | 125 (5.03.) | 46 ₍₁₉₇₄₎ | 272 ₍₁₉₉₇₎ | 32,4 |
| 8 | Wetna – Prusce | 37,0 | 7,2 ₍₁₉₉₇₎ | 65,7 ₍₁₉₇₀₎ | 36,5 | 140 (20.03.) | 78 ₍₁₉₇₅₎ | 275 ₍₁₉₈₅₎ | 27,3 |
| 9 | Gwda – Ptusza | 15,2 | 3,3 ₍₂₀₀₁₎ | 28,5 ₍₁₉₉₄₎ | 43,3 | 148 (28.03.) | 81 ₍₁₉₇₈₎ | 321 ₍₁₉₆₀₎ | 36,2 |
| 10 | Drawa – Drawiny | 14,0 | 3,1 ₍₁₉₉₆₎ | 26,2 ₍₁₉₉₄₎ | 38,3 | 126 (6.03.) | 68 ₍₁₉₇₈₎ | 338 ₍₁₉₉₆₎ | 33,6 |
| 11 | Ina – Goleniów | 23,8 | 3,2 ₍₁₉₉₃₎ | 47,6 ₍₁₉₇₀₎ | 46,0 | 117 (25.02.) | 49 ₍₁₉₇₈₎ | 224 ₍₁₉₉₆₎ | 21,8 |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 8,5 | 1,0 ₍₁₉₉₀₎ | 20,8 ₍₁₉₆₂₎ | 52,4 | 154 (3.04.) | 52 ₍₁₉₇₈₎ | 295 ₍₁₉₆₀₎ | 37,9 |
| 13 | Soła – Oświęcim | 31,1 | 3,8 ₍₁₉₇₅₎ | 65,9 ₍₁₉₉₄₎ | 49,1 | 193 (12.05.) | 54 ₍₂₀₀₈₎ | 356 ₍₂₀₀₇₎ | 30,9 |
| 14 | Skawa – Wadowice | 27,0 | 2,2 ₍₁₉₉₀₎ | 56,0 ₍₁₉₆₂₎ | 45,9 | 179 (28.04.) | 30 ₍₂₀₀₇₎ | 297 ₍₁₉₉₆₎ | 30,5 |
| 15 | Rába – Proszówki | 31,7 | 7,0 ₍₁₉₈₁₎ | 59,2 ₍₁₉₈₇₎ | 38,9 | 186 (5.05.) | 44 ₍₂₀₀₈₎ | 362 ₍₂₀₀₇₎ | 30,9 |
| 16 | Poprad – Muszyna | 31,8 | 7,2 ₍₁₉₅₃₎ | 55,3 ₍₁₉₆₂₎ | 35,9 | 207 (26.05.) | 153 ₍₁₉₉₇₎ | 290 ₍₁₉₈₀₎ | 15,4 |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 30,8 | 3,7 ₍₂₀₀₇₎ | 54,5 ₍₁₉₈₇₎ | 38,0 | 213 (1.06.) | 159 ₍₁₉₉₈₎ | 332 ₍₂₀₀₇₎ | 16,8 |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 34,9 | 2,2 ₍₂₀₀₂₎ | 68,6 ₍₁₉₆₄₎ | 39,8 | 170 (19.04.) | 4 ₍₂₀₀₈₎ | 291 ₍₁₉₉₆₎ | 32,4 |
| 19 | Nida – Pińczów | 25,0 | 3,5 ₍₁₉₅₉₎ | 46,9 ₍₁₉₆₄₎ | 38,2 | 159 (8.04.) | 68 ₍₁₉₇₅₎ | 357 ₍₁₉₇₈₎ | 42,6 |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 32,7 | 8,0 ₍₂₀₀₈₎ | 55,5 ₍₁₉₆₄₎ | 33,6 | 163 (12.04.) | 26 ₍₂₀₀₈₎ | 283 ₍₁₉₈₀₎ | 32,0 |
| 21 | San – Lesko | 28,3 | 5,7 ₍₁₉₇₁₎ | 66,9 ₍₁₉₆₂₎ | 45,5 | 175 (24.04.) | 66 ₍₁₉₉₃₎ | 260 ₍₁₉₉₆₎ | 25,1 |
| 22 | Wisłok – Trynka | 33,6 | 2,5 ₍₂₀₀₈₎ | 78,7 ₍₁₉₆₄₎ | 44,3 | 164 (13.04.) | 71 ₍₁₉₆₁₎ | 314 ₍₁₉₇₂₎ | 35,4 |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 23,2 | 7,1 ₍₁₉₉₆₎ | 46,3 ₍₁₉₅₈₎ | 41,6 | 141 (21.03.) | 55 ₍₁₉₇₂₎ | 353 ₍₁₉₇₄₎ | 38,2 |
| 24 | Kamienna – Kunów | 30,0 | 5,1 ₍₁₉₉₀₎ | 53,3 ₍₁₉₆₀₎ | 35,6 | 156 (5.04.) | 53 ₍₁₉₇₅₎ | 325 ₍₁₉₇₄₎ | 36,8 |
| 25 | Wieprz – Krasny-staw | 16,3 | 3,7 ₍₂₀₀₈₎ | 48,8 ₍₁₉₆₄₎ | 50,4 | 150 (30.03.) | 68 ₍₂₀₀₈₎ | 323 ₍₁₉₇₄₎ | 39,5 |
| 26 | Pilica – Przedbórz | 19,9 | 3,7 ₍₁₉₅₉₎ | 35,0 ₍₂₀₀₆₎ | 38,6 | 152 (2.04.) | 9 ₍₁₉₅₉₎ | 339 ₍₁₉₅₇₎ | 45,0 |
| 27 | Narew – Suraz | 33,6 | 9,2 ₍₁₉₉₇₎ | 55,5 ₍₁₉₆₄₎ | 35,0 | 149 (29.03.) | 56 ₍₁₉₇₅₎ | 352 ₍₁₉₇₄₎ | 35,6 |
| 28 | Biebrza – Burzyn | 28,5 | 10,1 ₍₁₉₈₅₎ | 61,6 ₍₂₀₀₂₎ | 38,2 | 151 (1.04.) | 64 ₍₁₉₇₅₎ | 329 ₍₁₉₇₄₎ | 32,5 |
| 29 | Pisa – Ptaki | 17,1 | 2,4 ₍₁₉₈₀₎ | 32,3 ₍₁₉₇₀₎ | 46,2 | 159 (8.04.) | 37 ₍₁₉₇₄₎ | 358 ₍₂₀₀₆₎ | 42,0 |
| 30 | Liwiec – Łochów | 33,4 | 3,4 ₍₁₉₇₇₎ | 61,0 ₍₂₀₀₂₎ | 42,8 | 129 (9.03.) | 5 ₍₁₉₇₄₎ | 337 ₍₁₉₇₂₎ | 42,4 |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 29,5 | 4,7 ₍₁₉₅₅₎ | 53,8 ₍₁₉₅₃₎ | 41,5 | 131 (11.03.) | 67 ₍₁₉₇₅₎ | 309 ₍₁₉₅₅₎ | 38,3 |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 19,2 | 2,9 ₍₁₉₆₀₎ | 36,0 ₍₁₉₈₂₎ | 46,0 | 134 (14.03.) | 60 ₍₁₉₇₄₎ | 342 ₍₁₉₇₂₎ | 35,2 |
| 33 | Brda – Tuchola | 11,7 | 1,7 ₍₂₀₁₀₎ | 24,4 ₍₁₉₉₄₎ | 45,2 | 106 (14.02.) | 9 ₍₂₀₀₁₎ | 321 ₍₁₉₆₀₎ | 51,5 |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 11,2 | 0,4 ₍₁₉₈₅₎ | 26,1 ₍₁₉₆₈₎ | 55,3 | 117 (25.02.) | 56 ₍₁₉₇₄₎ | 300 ₍₂₀₀₁₎ | 41,9 |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 19,7 | 2,5 ₍₁₉₆₀₎ | 36,9 ₍₁₉₉₄₎ | 41,8 | 102 (10.02.) | 12 ₍₁₉₇₆₎ | 362 ₍₁₉₇₄₎ | 74,0 |
| 36 | Parsęta – Bardy | 16,9 | 1,8 ₍₁₉₈₄₎ | 34,3 ₍₁₉₉₄₎ | 46,9 | 124 (4.03.) | 26 ₍₁₉₇₈₎ | 332 ₍₁₉₉₃₎ | 48,2 |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 12,8 | 1,9 ₍₁₉₉₁₎ | 27,6 ₍₁₉₇₅₎ | 44,4 | 106 (14.02.) | 9 ₍₁₉₇₈₎ | 341 ₍₁₉₆₁₎ | 57,5 |
| 38 | Słupia – Słupsk | 10,4 | 0,8 ₍₁₉₆₅₎ | 21,6 ₍₁₉₇₅₎ | 45,7 | 110 (18.02.) | 15 ₍₁₉₇₈₎ | 365 ₍₁₉₆₃₎ | 57,0 |
| 39 | Łupawa – Smołdzino | 9,1 | 2,0 ₍₁₉₅₁₎ | 20,4 ₍₁₉₇₅₎ | 47,4 | 102 (10.02.) | 16 ₍₁₉₇₄₎ | 299 ₍₂₀₀₁₎ | 45,3 |
| 40 | Łyna – Sepopol | 23,7 | 5,5 ₍₂₀₀₁₎ | 44,3 ₍₂₀₀₂₎ | 43,7 | 127 (7.03.) | 5 ₍₁₉₇₈₎ | 304 ₍₁₉₇₂₎ | 36,8 |
| | średnia | 23,5 | – | – | 43,0 | 148 (28.03.) | – | – | 37,7 |

Objaśnienia: IS_{sr} – średni wieloletni indeks sezonowości odpływu; $IS_{min(rok)}$ – najniższy indeks sezonowości odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; $IS_{max(rok)}$ – najwyższy indeks sezonowości odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; CV_{IS} – współczynnik zmienności wieloletniej indeksu sezonowości odpływu; WPK_{sr} – średni wieloletni wskaźnik pory koncentracji odpływu i data jego wystąpienia; $WPK_{wcz(rok)}$ – najwcześniejszy wskaźnik pory koncentracji odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; $WPK_{póz(rok)}$ – najpóźniejszy wskaźnik pory koncentracji odpływu w wieloleciu i rok jego wystąpienia; CV_{WPK} – współczynnik zmienności wieloletniej wskaźnika pory koncentracji odpływu.

Załącznik 9.

Statystycznie istotne współczynniki korelacji liniowej indeksu sezonowości (r_{IS}) i wskaźnika pory koncentracji odpływu (r_{WPK}) danej rzeki z indeksami sezonowości i wskaźnikami pory koncentracji odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru (test t–Studenta; $\alpha=0,05$).

| Lp | Rzeka – Wodowskaz | Liczba ujemnych, statystycznie istotnych $-r_{IS}$ | Największy współczynnik ujemny $MAXr_{IS}$ (rzeka) | Liczba dodatnich, statystycznie istotnych r_{IS} | Największy współczynnik dodatni $MAXr_{IS}$ (rzeka) | Liczba dodatnich, statystycznie istotnych r_{WPK} | Największy współczynnik dodatni $MAXr_{WPK}$ (rzeka) |
|----|---------------------------------|--|--|--|---|---|--|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. |
| 1 | Mała Panew – Staniszcze Wielkie | 0 | - | 18 | 0,808 (Warta) | 25 | 0,893 (Warta) |
| 2 | Nysa Kłodzka – Kłodzko | 0 | - | 14 | 0,559 (Bystrzyca) | 24 | 0,449 (Bóbr) |
| 3 | Oława – Oława | 0 | - | 6 | 0,525 (Bystrzyca) | 14 | 0,494 (Proсна) |
| 4 | Bystrzyca – Jarnałtów | 1 | -0,377 (Brda) | 10 | 0,559 (Nysa Kłodzka) | 5 | 0,575 (Bóbr) |
| 5 | Bóbr – Żagań | 0 | - | 18 | 0,585 (Proсна) | 10 | 0,575 (Bystrzyca) |
| 6 | Warta – Działoszyn | 0 | - | 17 | 0,808 (Mała Panew) | 34 | 0,907 (Pilica) |
| 7 | Proсна – Bogusław | 0 | - | 25 | 0,769 (Bzura) | 29 | 0,608 (Bzura) |
| 8 | Wielna – Prusce | 3 | -0,351 (Soła) | 19 | 0,732 (Gwda) | 20 | 0,687 (Gwda) |
| 9 | Gwda – Ptusza | 0 | - | 19 | 0,804 (Parsęta) | 28 | 0,687 (Wielna) |
| 10 | Drawa – Drawiny | 0 | - | 20 | 0,784 (Ina) | 27 | 0,673 (Ina) |
| 11 | Ina – Goleniów | 1 | -0,284 (Raba) | 21 | 0,784 (Drawa) | 15 | 0,673 (Drawa) |
| 12 | Przemsza – Jeleń | 1 | -0,290 (Brda) | 13 | 0,652 (Mała Panew) | 26 | 0,811 (Warta) |
| 13 | Soła – Oświęcim | 6 | -0,383 (Brda) | 10 | 0,825 (Skawa) | 24 | 0,863 (Skawa) |
| 14 | Skawa – Wadowice | 2 | -0,343 (Brda) | 14 | 0,825 (Soła) | 24 | 0,924 (Raba) |
| 15 | Raba – Proszówki | 6 | -0,406 (Pisa) | 13 | 0,776 (Soła) | 26 | 0,924 (Skawa) |
| 16 | Poprad – Muszyna | 1 | -0,317 (Brda) | 8 | 0,902 (Dunajec) | 28 | 0,942 (Dunajec) |
| 17 | Dunajec – Nowy Sącz | 3 | -0,429 (Brda) | 9 | 0,902 (Poprad) | 27 | 0,942 (Poprad) |
| 18 | Biała – Koszyce Wielkie | 0 | - | 15 | 0,848 (Wisłoka) | 32 | 0,971 (Wisłoka) |
| 19 | Nida – Pińczów | 0 | - | 15 | 0,788 (Pilica) | 26 | 0,864 (Kamienna) |
| 20 | Wisłoka – Mielec | 0 | - | 11 | 0,886 (Wisłok) | 32 | 0,971 (Biała) |
| 21 | San – Lesko | 0 | - | 9 | 0,616 (Wisłoka) | 26 | 0,835 (Wisłoka) |
| 22 | Wisłok – Tryńcza | 0 | - | 9 | 0,886 (Wisłoka) | 33 | 0,968 (Wisłoka) |
| 23 | Tanew – Harasiuki | 0 | - | 18 | 0,765 (Wisłok) | 26 | 0,729 (Kamienna) |
| 24 | Kamienna – Kunów | 0 | - | 17 | 0,759 (Nida) | 36 | 0,927 (Pilica) |
| 25 | Wieprz – Krasnystaw | 0 | - | 11 | 0,740 (Tanew) | 26 | 0,815 (Pilica) |
| 26 | Pilica – Przedbórz | 0 | - | 8 | 0,788 (Nida) | 35 | 0,927 (Kamienna) |
| 27 | Narew – Suraż | 0 | - | 19 | 0,693 (Biebrza) | 26 | 0,951 (Biebrza) |
| 28 | Biebrza – Burzyn | 0 | - | 19 | 0,791 (Łyna) | 26 | 0,951 (Narew) |
| 29 | Pisa – Ptaki | 1 | -0,406 (Raba) | 18 | 0,676 (Łyna) | 17 | 0,656 (Bzura) |
| 30 | Liwiec – Łochów | 0 | - | 22 | 0,715 (Biebrza) | 26 | 0,912 (Drwęca) |
| 31 | Bzura – Sochaczew | 0 | - | 25 | 0,769 (Proсна) | 32 | 0,829 (Drwęca) |
| 32 | Drwęca – Elgiszewo | 0 | - | 22 | 0,788 (Łyna) | 32 | 0,921 (Łyna) |
| 33 | Brda – Tuchola | 7 | -0,429 (Dunajec) | 19 | 0,768 (Słupia) | 20 | 0,682 (Bzura) |
| 34 | Wda – Czarna Woda | 1 | -0,344 (Soła) | 14 | 0,560 (Słupia) | 21 | 0,822 (Łupawa) |
| 35 | Rega – Trzebiatów | 0 | - | 19 | 0,880 (Parsęta) | 20 | 0,748 (Nida) |
| 36 | Parsęta – Bardy | 0 | - | 20 | 0,880 (Rega) | 25 | 0,673 (Łupawa) |
| 37 | Wieprza – Stary Kraków | 3 | -0,379 (Soła) | 17 | 0,894 (Słupia) | 11 | 0,736 (Łupawa) |
| 38 | Słupia – Słupsk | 2 | -0,350 (Soła) | 18 | 0,894 (Wieprza) | 10 | 0,758 (Łupawa) |
| 39 | Łupawa – Smołdzino | 2 | -0,344 (Raba) | 17 | 0,815 (Wieprza) | 23 | 0,822 (Wda) |
| 40 | Łyna – Sępól | 0 | - | 19 | 0,791 (Biebrza) | 31 | 0,921 (Drwęca) |
| | SUMA | 40 | - | 635 | - | 978 | - |

Objaśnienia: $MAXr_{IS}$ (rzeka) – największy statystycznie istotny (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) dodatni lub ujemny współczynnik korelacji liniowej indeksu sezonowości odpływu danej rzeki z indeksami sezonowości odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru; $MAXr_{WPK}$ (rzeka) – największy statystycznie istotny (test t–Studenta; $\alpha=0,05$) dodatni lub ujemny współczynnik korelacji liniowej wskaźnika pory koncentracji odpływu danej rzeki z wskaźnikami pory koncentracji odpływu pozostałych rzek analizowanego zbioru.