

Sezonowa struktura odpływu rzecznego w środkowej Polsce i jej zmiany w wieloleciu w świetle krzywych sumowych i terminów połowy odpływu

Seasonality to river outflow in Central Poland and its variability over a multiannual period revealed by mass diagram curves and half-outflow terms

PAWEŁ JOKIEL

Katedra Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki
90-139 Łódź, Narutowicza 88; joker@geo.uni.lodz.pl

Zarys treści. Opracowanie zawiera analizę i ocenę krzywych sumowych i zmienności terminów połowy odpływu (TPO_j) wykonaną dla 14 zlewni z obszaru środkowej Polski. Biorąc pod uwagę ustroje wybranych rzek, ich przepływy charakterystyczne, jak też fizycznogeograficzne uwarunkowania odpływu, wybrana grupa zlewni nadaje się do zbadania rodzaju oraz oceny ilości i jakości informacji hydrologicznej zawartej w analizowanych charakterystykach. Do badań wykorzystano serie codziennych przepływów rzek pochodzące z drugiej połowy XX wieku. Obliczono przeciętne, względne krzywe sumowe odpływu dla poszczególnych zlewni oraz krzywą sumową o charakterze krzywej regionalnej. Uchwycono związek między kształtem i liczbą punktów przegięcia krzywej a ustrojem rzeki. Terminy połowy odpływu dla poszczególnych zlewni i lat uzyskano metodą zaproponowaną w pracy A. Bartnika i P. Jokiela (2005). Zbadano rozkłady TPO_j , wartości średnie, zmienność wieloletnią i zróżnicowanie przestrzenne. Dokonano analizy ekstremów posługując się odpowiednio dobranymi kwantylami rozkładu. Stwierdzono kilka prawidłowości w zróżnicowaniu przestrzennym TPO_j oraz jego zmienności wieloletniej. Udokumentowano fakt, że w świetle stosowanej miary, w drugiej połowie XX w. sezonowa struktura odpływu rzecznego cechowała się pogodowo uwarunkowanymi fluktuacjami, bez trwałej tendencji wieloletniej. W świetle przeprowadzonych analiz, termin połowy odpływu może być prostą miarą, szybko wskazującą na klimatycznie lub antropogenicznie uwarunkowane zmiany sezonowej struktury odpływu.

Słowa kluczowe: odpływ rzeczny, krzywa sumowa, termin połowy odpływu, środkowa Polska.

Założenia i metody analiz

W prezentowanej niżej pracy postawiono sobie dwa cele. Po pierwsze, podjęto próbę zastosowania przeciętnej krzywej sumowej odpływu do identyfikacji i analiz ustroju wodnego rzek oraz oceny jego ewentualnych zmian w czasie, a także do wykrywania pojawiających się podobieństw i różnic wewnątrzregio-

nalnych i międzyregionalnych. Po drugie, przedstawiono miarę skonstruowaną z wykorzystaniem tej krzywej (termin połowy odpływu) i zastosowano ją do oceny sezonowej struktury odpływu i jej zmian w wieloleciu. Analizy te przeprowadzono na podstawie wieloletnich serii codziennych przepływów z 14 przekrojów wodowskazowych rzek odwadniających środkową Polskę – jeden z najuboższych w wodę obszarów kraju.

Krzywa sumowa odpływu (tzw. S-krzywa, krzywa kumulacyjna) jest jednym z użytecznych przedstawień dynamiki odpływu rzecznego w skali roku lub wielolecia. Dla przepływów chwilowych ma ona postać równania:

$$V(t) = \int_0^t Q(t) dt \quad (1)$$

gdzie:

$Q(t)$ – przepływ w czasie t

$V(t)$ – skumulowana objętość przepływu w czasie $(0, t)$.

Dla przepływów dobowych (takimi zwykle dysponujemy) równanie (1) przybiera postać:

$$V_N = 86400 \sum_{i=1}^N Q_i \quad (2)$$

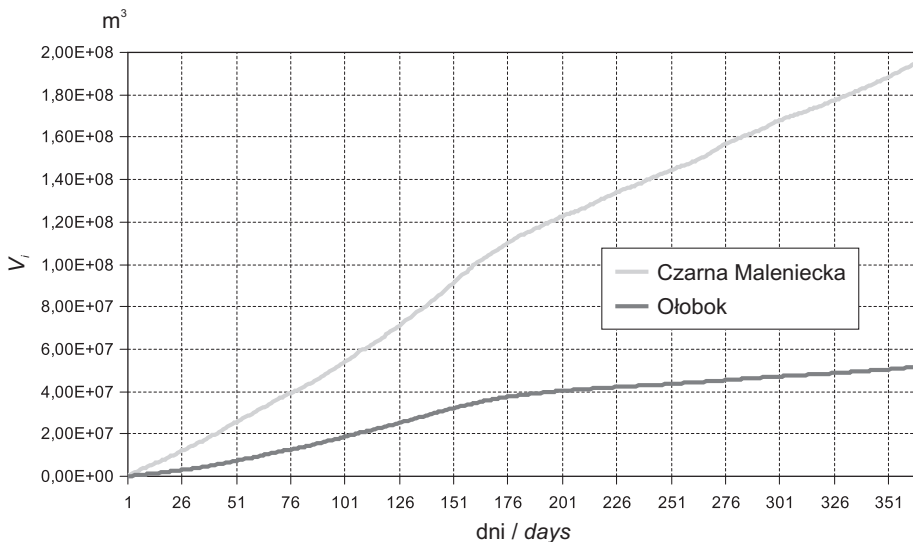
gdzie:

V_N – objętość skumulowanego odpływu w N -tym dniu roku hydrologicznego [m^3],
 Q_i – średni wieloletni przepływ w i -tym dniu roku hydrologicznego [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Krzywą sumową odpływu można uzyskać nie tylko dla poszczególnych lat wielolecia, lecz również dla roku przeciętnego. Powstaje ona wówczas na podstawie średnich z wielolecia jednoimiennych odpływów dobowych ze zlewni. Jest zatem obrazem przeciętnego przyrostu sumy odpływu w okresie od początku do końca roku hydrologicznego (ryc. 1), a jej kształt odzwierciedla ustrój wodny rzeki.

Krzywa sumowa jest krzywą całkową z pochodną wyznaczoną dla momentu i równą natężeniu przepływu w tym czasie – Q_i . Iloraz dV/di daje średni przepływ (Q_{sr}) w czasie di , np. w danym roku lub jego części (Szymkiewicz i Gąsiorowski, 2010; Węglarczyk, 2010). Jeśli w danym przedziale czasowym, np. w ciągu całego roku skumulujemy wartości $Q_i = Q_{sr}$, otrzymamy prostą wyrównanego przepływu. Odejmując od skumulowanych odpływów V_i w terminach i stosowne wartości odpływu średniego (uzyskane z prostej wyrównanego przepływu) – V_{sr} , otrzymamy krzywą różnicową. Odcinki jej lokalnych „wzrostów” i „spadków” wskażą odpowiednio okresy chwilowych (terminowych) nadwyżek i niedoborów odpływu w danym roku lub w warunkach przeciętnych (np. dla wielolecia) – rycina 2.

Roczne krzywe sumowe można też przetransformować na krzywe sumowe względne, przyjmując jako ich rzędne, wyrażone w procentach sumy rocznej, skumulowane odpływy w kolejnych dniach roku: $PV_i(kum)$ – rycina 3.



Ryc. 1. Krzywe sumowe średnich dobowych odpływów z wielolecia dwu wybranych zlewni środkowej Polski: Czarnej Malenieckiej i Ołoboku.

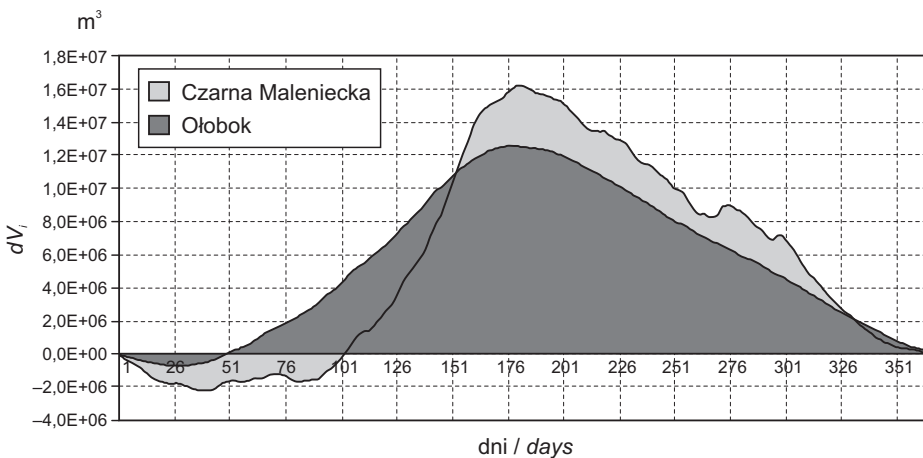
V_i – średni wieloletni odpływ kumulowany w dniu i

Opracowanie własne, podobnie jak pozostałe ryciny.

Mass diagram curves for daily mean outflows over the multiannual period, as calculated for the selected Czarna Maleniecka and Ołobok river basins of central Poland.

V_i – mean cumulative multiannual outflow on day i

Author's own elaboration (as well as in the case of other figures).



Ryc. 2. Przeciętne niedobory i nadmiary objętości średniego dobowego odpływu kumulowanego w relacji do rzędnych prostej kumulowanego odpływu średniego.

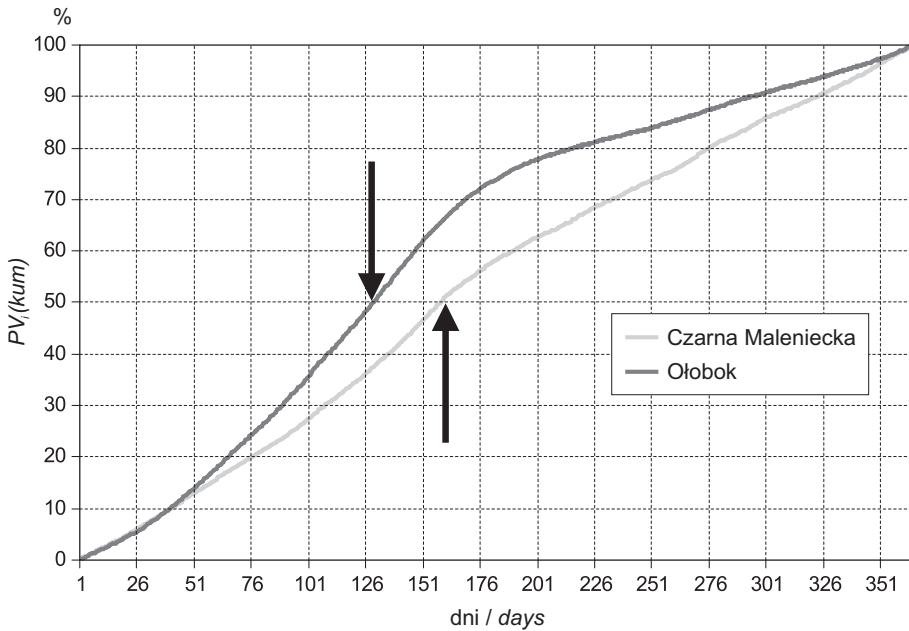
Zlewnie Czarnej Malenieckiej i Ołoboku

dV_i – nadmiar lub niedobór odpływu w dniu i ($dV_i = V_i - V_{sr}$); V_i – odpływ kumulowany w dniu i ; V_{sr} – średni odpływ kumulowany.

Shortages and excesses in relation to the mean cumulative daily outflow volume and the ordinates for the mean cumulative outflow straight line.

The basins are those of the Czarna Maleniecka and Ołobok

dV_i – shortage or excess of outflow on day i ($dV_i = V_i - V_{sr}$); V_i – mean cumulative multiannual outflow on day i , V_{sr} – mean cumulative outflow.



Ryc. 3. Względne, średnie krzywe sumowe odpływu dwu wybranych zlewni środkowej Polski (wskazano przeciętne terminy połowy odpływu – TPO_{sr}): Czarnej Malenieckiej i Ołoboku

$PV_i(kum)$ – skumulowany procent odpływu rocznego.

Relative, mean mass diagram curves for river outflows in the selected Czarna Maleniecka and Ołobok basins of central Poland (mean half-outflow terms are indicated as TPO_{sr})

$PV_i(kum)$ – cumulative percentage of annual outflow.

Kumulując dobowe przepływy (odpływy) rzeki aż do momentu osiągnięcia połowy ich sumy rocznej uzyskujemy miarę nazwaną „terminem połowy odpływu” (Bartnik i Jokiel, 2005) – TPO_j . Charakterystyka ta może być uzyskana dla każdego dowolnego roku (TPO_j) lub jako wartość przeciętna na podstawie średniej wieloletniej, względnej krzywej sumowej – TPO_{sr} (ryc. 3). Przy nieco innym podejściu, średni termin połowy odpływu można też uzyskać jako średnią z terminów TPO_j wyznaczonych dla poszczególnych lat wielolecia. Obie wartości będą się jednak różniły. Dzień w roku hydrologicznym, w którym suma odpływu osiągnie połowę wartości rocznej, ustalamy według formuły:

$$TPO_j = \{i: V_i = V_{(365)j} / 2\} \quad (3)$$

gdzie:

V_i – suma odpływu w dniu i roku j kumulowana od 1 listopada roku $j-1$,

$V_{(365)j}$ – roczna suma odpływu w roku j (dla lat przestępnych $i=366$),

TPO_j – dzień osiągnięcia $V_i = V_{(365)j} / 2$, w roku j .

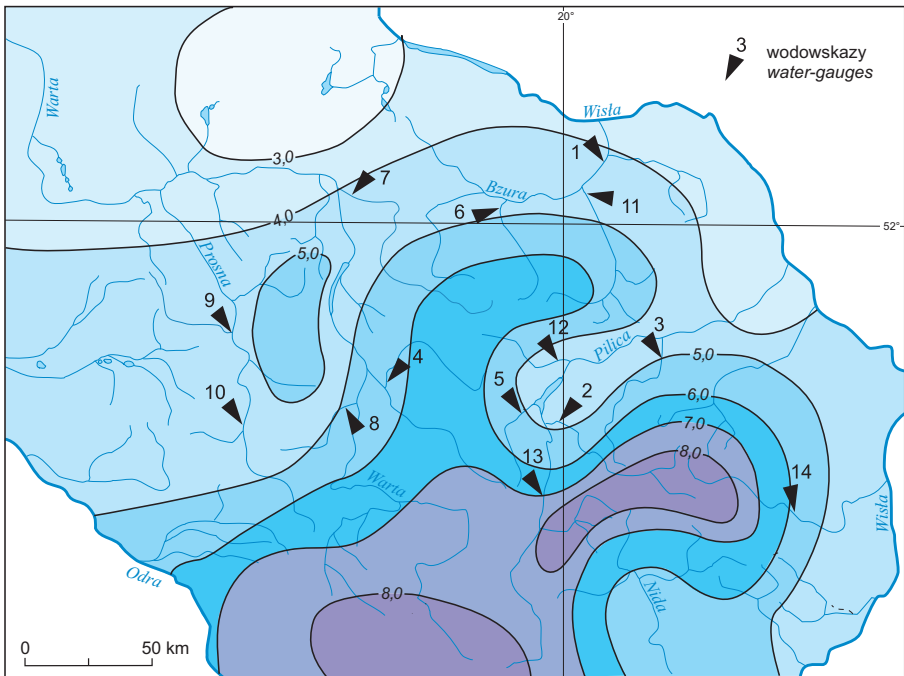
W badaniach wieloletnich zmian i fluktuacji ustroju rzeki, przemian sezonowej struktury jej odpływu lub w analizach antropopresji (zrzuty wód obcych, pobory w ujęciach, wpływ gospodarki zbiornikowej), prześledzenie dynamiki TPO_j może udzielić odpowiedzi na szereg pytań dotyczących kierunków oraz wielkości zmian zachodzących w sezonowej strukturze odpływu i w ustroju wodnym. Obok innych tego rodzaju charakterystyk np. pory koncentracji odpływu (Tomaszewski, 2012), indeksu sezonowości (Tomalski, 2011) i miar stabilności ustroju i entropii odpływu (Wrześniński, 2013), które coraz częściej zaczynają być używane do monitorowania i identyfikacji zmian ustroju rzeczny, ma ona szereg zalet, ale ma również określone wady. Z jednej strony, umożliwia śledzenie zmian i fluktuacji odpływu w zakresie różnych aspektów sezonowej i genetycznej struktury odpływu i choć nie jest miarą uniwersalną, to stosowana łącznie z innymi charakterystykami pozwala dość łatwo zidentyfikować, ocenić i analizować hydrologiczne konsekwencje wieloletnich zmian i zmienności klimatu oraz efekty gospodarczej działalności człowieka, także w aspekcie przestrzennym (Bartnik i Jokiel, 2005; Jokiel, 2009). Z drugiej strony, sposób jej konstrukcji oraz czysto statystyczny charakter sprawiają, że należy ją interpretować ostrożnie i najlepiej razem z innymi charakterystykami.

Materiał badawczy

Artykuł zawiera analizę względnych krzywych sumowych odpływu (por. ryc. 3) oraz ocenę wieloletniej zmienności terminów połowy odpływu TPO_j (eq. 3) obliczonych dla poszczególnych lat wielolecia (serie 43-53-letnie z okresu 1951-2002; Kamienna do 2006 r.) i 14 wybranych przekrojów wodowskazowych rzek odwadniających obszary nizinne i wyżynne środkowej Polski – rycina 4.

Materiał hydrometryczny zaczerpnięto z bazy danych IMiGW-PIB. Biorąc pod uwagę ustroje wybranych rzek, przepływy i odpływy charakterystyczne, jak też ich fizycznogeograficzne uwarunkowania, próba ta znakomicie nadaje się do zbadania i oceny ilości i jakości informacji hydrologicznej jaką wnoszą przeciętne, względne krzywe sumowe odpływu oraz wieloletnie serie TPO_j i jego statystyki. Podjęto też próbę wykazania, że charakterystyki te nadają się również do wieloaspektowych analiz porównawczych, które mogą z nich uczynić proste miary, szybko wskazujące na klimatycznie lub antropogenicznie uwarunkowane zmiany sezonowej struktury odpływu, a może nawet zmiany ustroju rzeczny. Obie bowiem dość łatwo poddają się obróbce numerycznej i statystycznej.

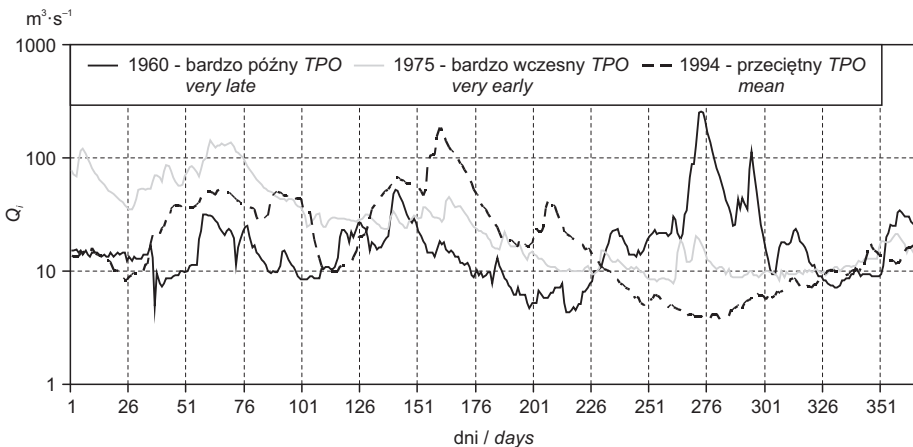
Przykłady rocznych hydrogramów przepływu Bzury w latach o bardzo późnym, przeciętnym i bardzo wczesnym terminie połowy odpływu prezentuje rycina 5. Różnice w sezonowej strukturze odpływu w tych latach są na nich doskonale widoczne. Uwidacznia się tam również ogromna zmienność terminów poja-



Ryc. 4. Rozmieszczenie przekrojów wodowskazowych na tle średniego odpływu jednostkowego w środkowej Polsce [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$]; numery przekrojów jak w tab. 2

Location of the analyzed water gauges on the basis of specific river outflow in central Poland [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$]; numbering according to tab. 2

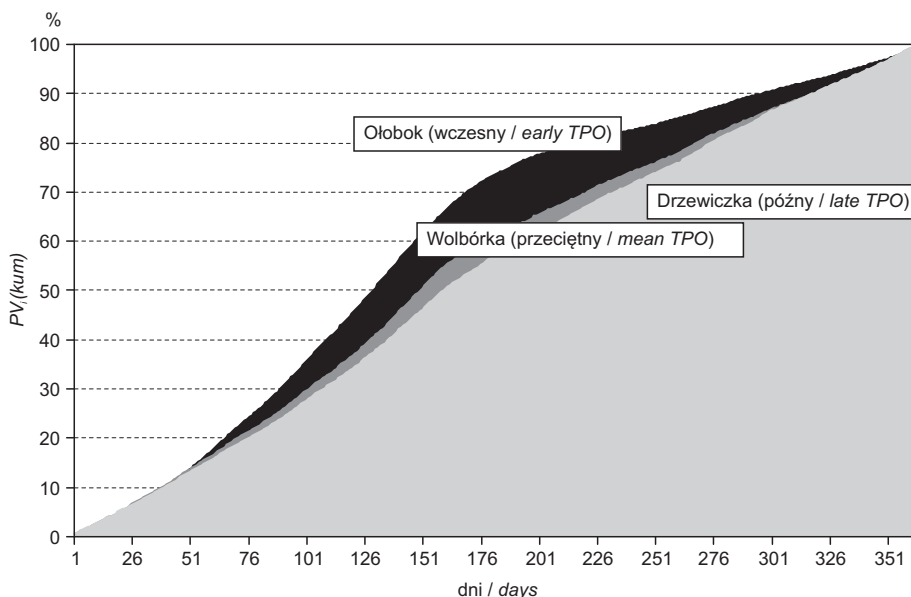
Źródło / Source: Jokiel (2004).



Ryc. 5. Roczne hydrogramy przepływu Bzury w Sochaczewie z lat o zróżnicowanym TPO; Q_i – natężenie przepływu w dniu i

Annual hydrographs for discharges from the Bzura in Sochaczew in years for which TPO was differentiated; Q_i – discharge on day i

wiania się i skali wezbrań i niżówek w ciągu roku, a w aspekcie genetycznym łatwo identyfikowalna jest także przewaga „roztopowej” lub „opadowej” składowej odpływu. W różnych latach ustrój rzeki może być zatem złożony lub prosty, może być też lepiej lub gorzej wykształcony. Jednocześnie może on być „bardziej śnieżny”, „bardziej śnieżno-deszczowy”, albo „bardziej deszczowo-śnieżny”. Różnice takie są często dobrze widoczne na krzywych sumowych odpływu, a ich dobrym markerem jest TPO_j (ryc. 6).



Ryc. 6. Średnie, względne krzywe sumowe odpływu z trzech zlewni środkowej Polski o bardzo wczesnym, przeciętnym i późnym w skali regionu średnim terminie połowy odpływu.

$PV_i(kum)$ – średni w wieloletniu, skumulowany procent odpływu rocznego.

Relative, mean mass diagram curves for outflows from the basins of three selected rivers in central Poland, with a very early, an mean and a very late half-outflow term on the regional scale.

$PV_i(kum)$ – mean in the multiannual period, cumulative percentage of annual outflow.

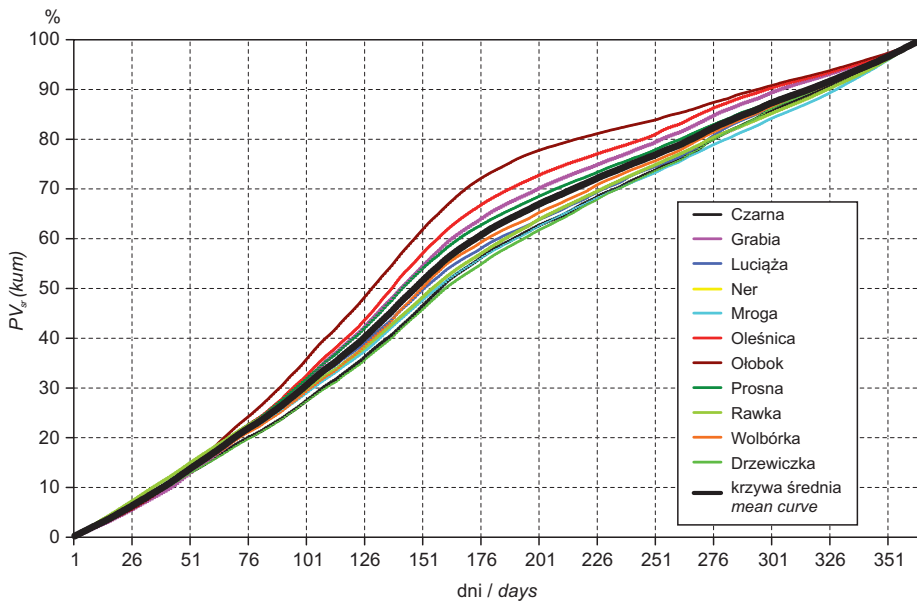
Termin połowy odpływu nie jest jednak miarą doskonałą i rodzi szereg trudności interpretacyjnych. Definiując ją przyjmujemy między innymi założenie, że rok (hydrologiczny) jest „zamkniętą” jednostką czasową, w której odpływy są niezależne od występujących wcześniej i nie będą miały wpływu na późniejsze. W kontekście dużej inercji odpływu powodowanej między innymi retencją, założenie to nie zawsze jest prawdziwe i należy stale o tym pamiętać (Jokiel, 2009).

Wyniki analiz

Krzywe sumowe

Analizę wyników warto rozpocząć od przedstawienia przeciętnych dla wielolecia, względnych krzywych sumowych odpływu poszczególnych zlewni. Przypomnijmy, że można je uzyskać kumulując średnie, jednoimienne odpływy dobowe i wyrażając je w wartościach względnych sumy rocznej (por. ryc. 7). Krzywe te różnią się wyraźnie kształtem (typem funkcji aproksymujących), a jednocześnie lokalnymi prędkościami przyrostu odpływu i lokalizacją punktu (punktów) przegięcia.

W półroczu chłodnym, średni przyrost odpływu w zlewniach rzek środkowej Polski jest duży i dość systematyczny; około 30% sumy rocznej odpływu do 100 dnia roku hydrologicznego (7-8 lutego). Około 180 dnia roku (początek maja) suma odpływu przekracza już zwykle 60% sumy rocznej. Później, aż do końca roku hydrologicznego względne przyrosty odpływu systematycznie maleją, przy czym spadek ten zostaje zahamowany w lipcu, by w ostatnim kwartale roku znowu powrócić do poprzedniego tempa (ryc. 7).



Ryc. 7. Średnie, względne krzywe sumowe odpływu rzek środkowej Polski
 $PV_{sr}(kum)$ – wyrażony w procentach średniej sumy rocznej jednoimienne średni dobowy odpływ kumulowany.

Relative, mean summation curves for outflow from the rivers of central Poland
 $PV_{sr}(kum)$ – percentage annual mean outflow, mean daily cumulative outflow.

Na podstawie 14 względnych, średnich krzywych sumowych odpływu obliczono również krzywą przeciętną dla całej grupy zlewni (średnią krzywą regionalną). Uzyskano ją uśredniając wartości $PV_{sr}(kum)$ otrzymane dla poszczególnych zlewni w kolejnych dniach roku (T) – rycina 7. Z kształtu krzywej regionalnej wynika, że w połowie roku hydrologicznego (około 1 maja), ze zlewni środkowej Polski odpływa przeciętnie blisko 60% rocznych zasobów wodnych, choć występują różnice międzyzlewniowe; ze zlewni rzek wyżynnych (Czarnej Malenieckiej, Drzewiczki i Proсны) i rzek odwadniających obszar Wzniesień Łódzkich (Mrogi, Rawki, Wolbórki i Luciąży) odpływa mniej niż 60%, a ze zlewni położonych we wschodniej części Niziny Wielkopolskiej – znacznie powyżej 60% (ze zlewni Ołoboku nawet 73%).

Kształt przeciętnej „krzywej środkowopolskiej”, jak i krzywych poszczególnych zlewni wskazuje także, że badane rzeki mają słabo wykształcony ustrój złożony (śnieżno-deszczowy), z najszybszym przyrostem odpływu od lutego do połowy kwietnia i wyraźnym punktem przegięcia krzywej sumowej około 175-180 dnia roku. Drugi punkt przegięcia jest słabo zarysowany (wyraźny tylko w przypadku rzek „wyżynnych”) i występuje około 1 sierpnia (Czarna Mal., Drzewiczka, Pili-ca, Kamienna). Szybszy przyrost odpływu (a właściwie zahamowanie jego spadku) występuje w tej części Polski między 250 (10 lipca) i 280 (6 sierpnia) dniem roku hydrologicznego i jest związany z letnimi wczesnymi opadami (ryc. 7).

Warto zwrócić też uwagę na różnice regionalne. Krzywe rzek wschodniej Wielkopolski (Ołoboku, Proсны, Oleśnicy i Grabi) po 120 dniu roku (przełom lutego i marca), a Ołobok nawet wcześniej, leżą „powyżej” przeciętnej krzywej regionalnej, natomiast krzywe rzek wyżynnych – znacznie „poniżej” (ryc. 7). Te ostatnie są też mocno „wygięte”, a ich punkty przegięcia znajdują się relatywnie późno na osi czasu. Najmniej wygięte są natomiast krzywe Rawki i Mrogi (Wzniesienia Łódzkie), co dowodzi, że zasilanie i odpływ są w ich przypadku najbardziej równomiernie rozłożone w czasie. Jest to zapewne efektem dużego udziału podziemnego zasilania – powyżej 65% (Jokiel, 2004).

Terminy połowy odpływu

Dla każdego roku wielolecia i każdego uwzględnionego przekroju wodowskazowego, obliczono terminy połowy odpływu TPO_j . Czasowy porządek uzyskanych TPO_j można ustalić posługując się „kalendarzykiem” w tabeli 1. Z przyczyn obiektywnych nie udało się skompletować serii o jednakowej długości i pochodzących z tego samego wielolecia. Biorąc jednak pod uwagę charakter zaprezentowanych niżej miar rozstępu (ekstrema), zmienności (Wzm), skośności (Sk) i kurtozy (Ku), które wskazują na duże, wewnątrzgrupowe podobieństwa cech rozkładów, niedogodność ta wydaje się do przyjęcia. Warto również dodać, iż obliczone współczynniki autokorelacji (Ra) oraz inne cechy rozkładu dowodzą, że ciągi TPO_j mają w większości przypadków charakter losowy.

Tabela 1. Wybrane terminy i daty TPO_j
 Selected terms and dates of the TPO_j

Kalendarzyk	T	93	107	122	136	152	166	182	196	213	228	242	257	275
TPO_j	D	1.02	15.02	1.03	15.03	1.-4	15.04	1.05	15.05	1.06	15.06	1.07	15.07	1.08

T – kolejny dzień roku hydrologicznego / successive day in the hydrological year;
 D – data / date.

Uzyskano w ten sposób 14 wieloletnich serii terminów połowy odpływu, które mogły być poddane kolejnym analizom mającym na celu określenie cech ich rozkładów oraz ocenę podobieństw wewnątrzgrupowych i różnic międzygrupowych. Podstawowe informacje o uwzględnionych zlewniach oraz najprostsze charakterystyki statystyczne obliczone dla wieloletnich serii TPO_j zawiera tabela 2.

Tabela 2. Podstawowe miary statystyczne wieloletnich serii TPO_j
 Basic statistical measures of multiannual TPO_j series

	Rzeka <i>River</i>	Wodowskaz <i>Water-gauge</i>	Seria <i>Period</i>	A	TPO_{sr}	TPO_{wcz}	$TPO_{póz}$	Wzm	Sk	Ku	Ra
1	Bzura	Sochaczew	1951-2002	6278	149	76	264	21,3	0,989	2,62	-0,15
2	Czarna Mał.	Dąbrowa	1951-2002	942	163	94	273**	23,7	1,156	0,98	-0,28
3	Drzewiczka	Odrzywół	1951-2002	1004	165	107	253	20,2	0,903	0,49	-0,28
4	Grabia	Grabno	1951-2002	811	144	76	253	23,2	1,102	2,32	-0,11
5	Luciąża	Kłudzice	1960-2002	506	155	93	243	22,0	0,583	0,14*	-0,14
6	Mroga	Bielawy	1960-2002	467	159	125**	238	13,9	1,097	3,02	-0,14
7	Ner	Dąbie	1951-2002	1712	153	86	232*	18,2	0,414*	0,79	-0,03
8	Oleśnica	Niechmirów	1951-2002	592	144	67*	258	25,9	0,974	1,71	-0,06
9	Ołobok	Ołobok	1951-2002	447	133*	71	271	26,2**	2,068**	6,99**	-0,12
10	Prosna	Mirków	1951-2002	1255	147	81	253	21,7	1,213	2,92	-0,09
11	Rawka	Kęszyce	1951-2002	1191	156	119	237	13,4*	1,121	3,40	-0,11
12	Wolbórka	Zawada	1951-2002	616	154	105	242	16,1	0,764	1,62	-0,15
13	Pilica	Przedbórz	1951-2002	2536	168**	115	263	20,0	0,905	0,68	-0,27
14	Kamienna	Kunów	1952-2006	1106	165	117	272	24,0	1,404	1,68	-0,08
Rzeki środkowej Polski <i>Central Poland Rivers</i>			Średnia <i>Average</i>		154			20,7			-0,10

A – powierzchnia zlewni / river basin area [km^2];

TPO_{sr} – średni termin połowy odpływu (dzień) / mean half-outflow term (day);

TPO_{wcz} – najwcześniejszy termin połowy odpływu (dzień) / earliest half-outflow term (day);

$TPO_{póz}$ – najpóźniejszy termin połowy odpływu (dzień) / latest half-outflow term (day);

Wzm – współczynnik zmienności terminu połowy odpływu / half-outflow term coefficient of variation [%];

Już pobieżna analiza tej tabeli dowodzi, że średnie wieloletnie TPO_{sr} w środkowej Polsce są dość zróżnicowane i zawierają się przedziale nieco szerszym niż miesiąc. Najwcześniejszy TPO_{sr} (12 marca) uzyskano dla Ołoboku, najpóźniejszy (17 kwietnia) dla Pilicy. Wyraźnie widoczny jest tu pewien porządek przestrzenny polegający na tym, że rzeki odwadniające nizinną, zachodnią i północno-zachodnią część obszaru mają dużo wcześniejsze TPO_{sr} niż te, które płyną po wyżynach części wschodniej i południowo-wschodniej. Uwaga ta nie dotyczy jednak ekstremalnych TPO_j , czyli bardzo wczesnych i bardzo późnych. W Oleśnicy bardzo wczesny TPO_j wystąpił już na początku stycznia, a w Mrodze dopiero na początku marca. Podobnie w przypadku terminów bardzo późnych: w Nerze w końcu drugiej dekady czerwca, a w Czarnej Malenieckiej – pod koniec lipca (ryc. 8). Odległość w czasie między najpóźniejszymi i najwcześniejszymi TPO_j jest w rzekach środkowej Polski dość znaczna i przekracza zwykle 100, a niekiedy nawet 150 dni (np. Kamienna, Czarna Mal., Oleśnica). Na tym tle przedziały dyspersji TPO_j w rzekach spływających z Wzniesień Łódzkich (Mrogi, Rawki, Wolbórki) są wąskie i nie przekraczają 100 dni.

Współczynniki zmienności wieloletniej terminów połowy odpływu Wzm są mało zróżnicowane i zawierają się w przedziale od kilkunastu do około 26%. Rozkłady TPO_j są lekko (np. Ner – ryc. 9) lub bardzo skośne prawostronnie (np. Kamienna – ryc. 10). Niektóre z nich, np. rozkład TPO_j Neru można nawet uznać za quasi-normalne. W kilku przypadkach ($Ku > 3$) szeregi TPO_j są leptokurtyczne, czyli spiczaste (Ołobok, Mroga, Rawka), co świadczy o tym, że duży odsetek wartości TPO_j grupuje się w pobliżu średniej. W niektórych przypadkach współczynniki kurtozy są mniejsze od 3, a nawet bliskie zera (np. Drzewiczka, Pilica, Luciąża) co oznacza, że TPO_j są względnie równomiernie rozłożone w poszczególnych przedziałach zmienności, wskazując na szereg platykurtyczny.

Współczynniki autokorelacji Ra przy kroku $k=1$ można traktować jako miary bezwładności wieloletnich szeregów TPO_j . Tylko w trzech przypadkach inercję szeregów można uznać za statystycznie istotną ($\alpha = 1\%$; test t-Studenta), przy czym jest ona ujemna. Zatem późny termin połowy odpływu w roku j wpływa znacząco na pojawienie się wczesnego TPO w roku $j+1$ i odwrotnie. Wyjaśnienie tego faktu jest stosunkowo proste. Późny termin połowy odpływu oznacza, że w danym roku udział wód pochodzących z opadów wiosennych i letnich w odpływie jest duży, a wezbrania w cieplej porze roku są większe niż te, które wystąpiły w półroczu chłodnym – ustrój w danym roku był deszczowo-śnieżny. W efek-

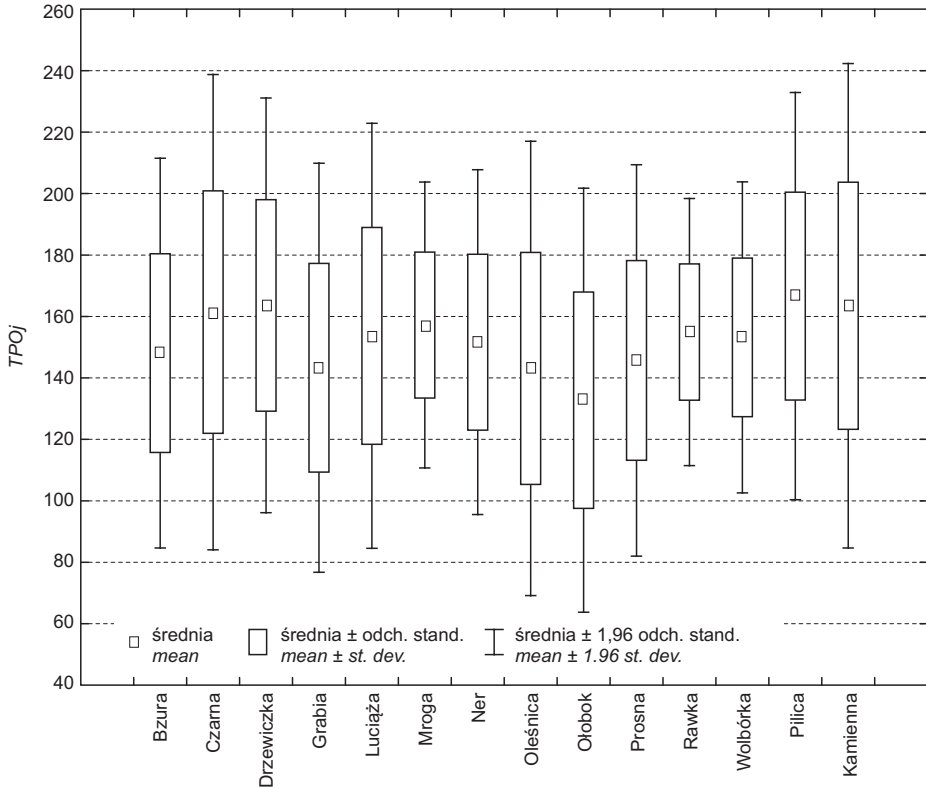
←
 Sk – współczynnik skośności / skewness coefficient;

Ku – współczynnik kurtozy / coefficient of kurtosis;

Ra – współczynnik autokorelacji terminu połowy odpływu (pogrubiono istotne na poziomie 5%) / half-outflow term autocorrelation coefficient (with significant at the 5% level were bolded);

* wartość najmniejsza w całym zbiorze zlewni / lowest value in the whole river basins dataset;

** wartość największa w całym zbiorze zlewni / highest value in the whole river basins dataset.

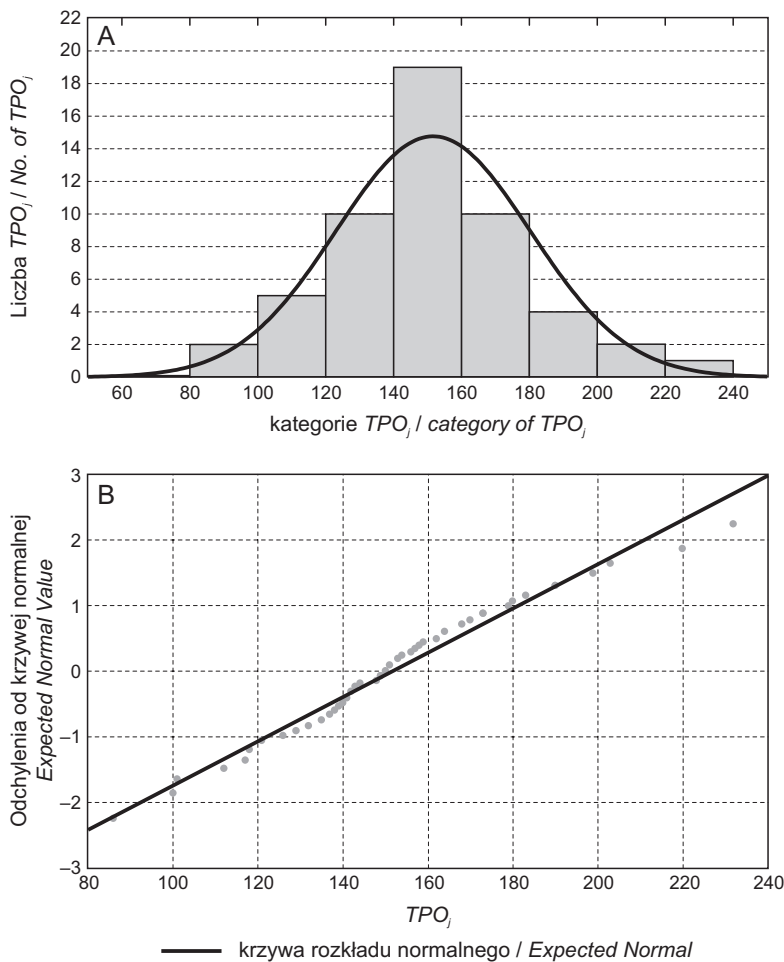


Ryc. 8. Wieloletnie zróżnicowanie terminów połowy odpływu w wybranych zlewniach środkowej Polski

Multiannual variability to half-outflow terms for the selected river basins in central Poland

cie, retencja wód podziemnych jest w półroczu chłodnym następnego roku duża i nawet niewielkie zasilanie roztopowe może spowodować duże odpływy w półroczu chłodnym tego roku, a w konsekwencji wczesny termin połowy odpływu. Podobne rozumowanie można przeprowadzić w odniesieniu do wczesnego terminu połowy odpływu w roku j , przy czym późny termin w roku następnym jest wówczas skutkiem długotrwałego uzupełniania w półroczu chłodnym roku $j+1$ niedoborów retencji półroczu ciepłego poprzedniego roku. Prawidłowość ta szczególnie wyraźnie występuje w zlewniach rzek wyżynnych o dużym udziale w odpływie wód pochodzących z drenażu głębokich poziomów wodonośnych (Pillica, Drzewiczka, Czarna Maleniecka).

Empiryczne prawdopodobieństwo pojawiania się bardzo późnego lub bardzo wczesnego terminu połowy odpływu można ocenić obliczając i analizując kwantyle rozkładu. Do tego celu wybrano dwa lustrzane kwantyle (kwartyle i decyle).

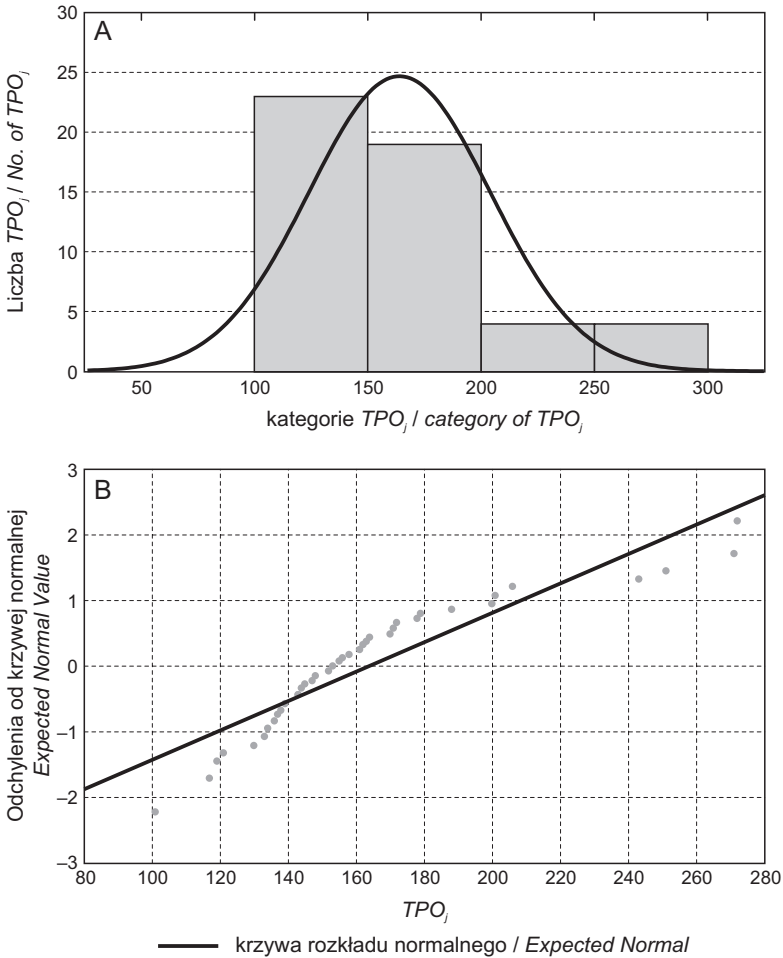


Ryc. 9. Rozkład rocznych TPO_j Neru na wodowskazie w Dąbiu
A – diagram częstości TPO_j ; B – odchylenia częstości empirycznych TPO_j
od wartości teoretycznych rozkładu normalnego.

Distribution of annual TPO_j values recorded for the Ner at the Dąbie gauge station

A – TPO_j frequency diagram; B – TPO_j empirical frequency deviations
from theoretical values of the normal distribution.

Przedział między kwartylami (50% wszystkich elementów szeregu) zawiera wartości TPO_j , które można uznać za quasiprzeciętne (typowe), zaś wartości wyższe od decyla górnego i niższe od decyla dolnego należy traktować jako terminy ekstremalnie późne lub ekstremalnie wczesne – prawdopodobieństwo pojawienia się wartości równych decydom lub późniejszych (wcześniejszych) TPO_j jest mniejsze od 10% (tab. 3).



Ryc. 10. Rozkład rocznych TPO_j Kamiennej na wodowskazie w Kunowie
 A – diagram częstości TPO_j ; B – odchylenia częstości empirycznych TPO_j
 od wartości teoretycznych rozkładu normalnego.

Distribution of annual TPO_j values recorded for the Kamienna at the Kunów gauge station

A – TPO_j frequency diagram; B – TPO_j empirical frequency deviations
 from theoretical values of the normal distribution.

Przedziały 50% częstości terminów połowy odpływu w grupie zlewni środkowej Polski zaczynają się stosunkowo wcześnie (średnio 13 marca), ale i wcześnie się kończą (około 14 kwietnia). Średnia rozpiętość międzykwartylowa, a także rozpiętości uzyskane w przypadku poszczególnych rzek, są bliskie 30 dni (miesiąc).

Tabela 3. Empiryczne kwantyle rozkładów szeregów TPO_j rzek środkowej Polski
 Empirical quantiles for the Central Poland rivers' TPO_j set distributions

	Rzeka River	$Me_{50\%}$	$KwD_{25\%}$	$KwG_{75\%}$	$DecD_{10\%}$	$DecG_{90\%}$
1	Bzura	144,0	129,0	160,0	117,0	190,0
2	Czarna Mal.	154,0	135,0	169,0	123,0	231,0
3	Drzewiczka	154,0	143,0	174,0	128,0	220,0
4	Grabia	140,0	124,0	157,0	102,0	184,0
5	Luciąża	150,0	131,0	174,0	103,0	201,0
6	Mroga	154,0	143,0	172,0	135,0	182,0
7	Ner	150,0	137,0	164,0	118,0	190,0
8	Oleśnica	142,0	122,0	157,0	100,0	190,0
9	Ołobok	130,0	114,0	144,0	101,0	153,0
10	Prosna	144,0	129,0	158,0	104,0	176,0
11	Rawka	151,0	144,0	162,0	139,0	184,0
12	Wolbórka	152,0	140,0	164,0	122,0	189,0
13	Pilica	160,0	143,0	182,0	134,0	215,0
14	Kamienna	153,0	138,0	172,0	125,5	224,5
	Z_{sr}	148,4	133,7	164,9	118,0	195,0

$Me_{50\%}$ – mediana rozkładu / median for the distribution;

$KwD_{25\%}$ – kwartyl dolny / lower quartile;

$KwG_{75\%}$ – kwartyl górny / upper quartile;

$DecD_{10\%}$ – decyl dolny / first decile;

$DecG_{90\%}$ – decyl górny / ninth decile;

Z_{sr} – średnia wartość kwantyla / mean value of the quantile.

Wartości TPO_j mniejsze od decyla dolnego można uznać za anomalnie wcześnie (prawdopodobieństwo wraz z niższymi – 10% i mniej). W rzekach środkowej Polski decyl 10% przypada średnio na 118 dzień roku hydrologicznego, a więc na koniec lutego. Różnice w tej grupie zlewni są jednak bardzo duże. W typowo nizinnych zlewniach wschodniej Wielkopolski (Oleśnica, Ołobok, Prosna), w latach o bardzo suchych półroczach ciepłych poprzedniego roku, połowa zasobów wodnych roku następnego ich zlewni może się wyczerpać już na początku lutego, zaś w zlewniach północnej części Wyżyny Małopolskiej (Drzewiczka, Kamienna, Czarna Mal.) i w zlewni Pilicy – dopiero w połowie marca. Zauważmy jednocześnie, że zasobne w potamiczne wody podziemne zlewnie Rawki i Mrogi (Wzniesienia Łódzkie), w podobnych latach, oddają połowę swych zasobów równie późno, jak wymienione zlewnie „małopolskie”. Wydaje się, że wartość decyla 10% rośnie na badanym obszarze w kierunku wschodnim i południowym.

Mniej więcej raz na 10 lat (decyl górny), TPO_j rzek środkowej Polski może znaleźć się w przedziale od 2 kwietnia (Ołobok) do 18 czerwca (Czarna Maleniecka); średnio 14 maja. Rozstęp jest tu również bardzo szeroki. Połowa rocznych zasobów wodnych analizowanych zlewni wyżynnych, w sytuacji ekstremalnie późnego TPO_j , może odpłynąć nawet po 15 czerwca. We wschodniej Wielkopolsce zasoby te odpłyną znacznie przed tym terminem.

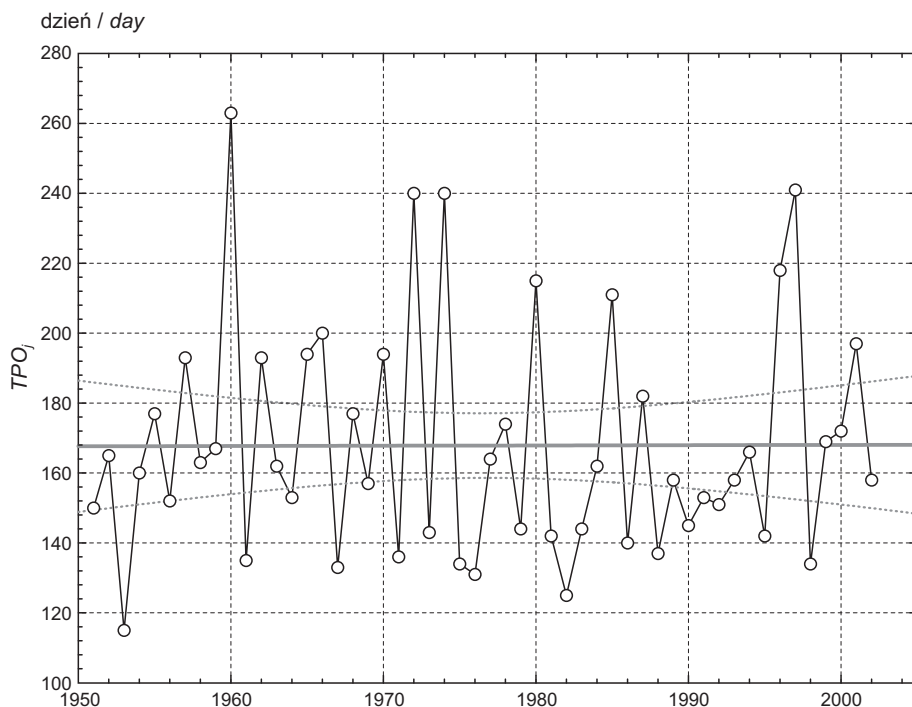
Analizując wieloletnią zmienność terminu połowy odpływu w zlewniach środkowej Polski należy zacząć od dość oczywistego stwierdzenia, że późne TPO_j są typowe dla lat o bardzo wysokich sumach opadów półrocza ciepłego, zaś wcześnie cechują lata, w których opady i wezbrania letnie były niższe od przeciętnej, zaś na letnio-jesiennych hydrogramach przepływu dominowały niżówki.

Wieloletnia dynamika terminów połowy odpływu w całym zbiorze zlewni zdaje się dowodzić, że obserwowane fluktuacje tej charakterystyki mają charakter losowy, choć są determinowane przez relacje między roztopowym i opadowym zasilaniem. Nie stwierdzono istotnych trendów ($\alpha = 0,05$; test F-Snedecora) wskazujących na przemiany ustroju tych rzek wywołujące coraz późniejsze lub coraz wcześniejsze TPO_j (ryc. 11), choć w przypadku niektórych rzek, można zaobserwować prawidłowość polegającą na coraz późniejszym pojawianiu się terminów połowy odpływu, a zatem wskazującą na zwiększanie się roli opadów letnich w zasilaniu oraz na wzrost zmienności TPO_j , który ma zapewne związek z antropopresją – np. pobory i zrzuty wody z ogromnych kompleksów stawów hodowlanych w zlewni Ołoboku – rycina 12.

Terminy połowy odpływu, zarówno średnie, jak i ekstremalne, są w zlewniach środkowej Polski stosunkowo wczesne. Biorąc pod uwagę szereg aspektów dynamiki TPO_j Bzura jest podobna do rzek „wielkopolskich”, zaś Ner ma cechy typowe dla grupy rzek „wyżynnych”. W tym ostatnim przypadku duży udział „czynnika opadowego” jest skutkiem tego, że Ner odbiera duże ilości szybko spływających wód opadowych pochodzących z kanalizacji burzowej Łodzi, a jednocześnie przez cały rok prowadzi mało zmienne sezonowo ilości wód pościkowych. Wywołuje to efekt hydrologiczny podobny do występującego w rzekach wyżynnych, gdzie na relatywnie duży i mało zmienny w czasie odpływ podziemny (podstawa hydrogramu) nakładają się szybko spływające wody z intensywnych opadów półrocza ciepłego.

Analiza zmienności TPO_j w skali wielolecia i w odniesieniu do uwzględnionej grupy zlewni byłaby niepełna bez zbadania regionalnej synchroniczności zmian tej charakterystyki. Synchroniczność oceniano na podstawie obliczonych współczynników korelacji wzajemnej R (tab. 4). Do analizy posłużyły tu współczynniki obliczone dla TPO_j ze wspólnego dla wszystkich serii wielolecia 1960-2002.

Bardzo wysokie: od 0,47 (Ołobok/Rawka) do 0,96 (Czarna Mał./Drzewiczka) i istotne statystycznie ($\alpha = 0,01$; test t-Studenta) współczynniki korelacji wzajemnej dowodzą, że na całym obszarze zmiany TPO_j były w badanym wieloleciu podobne. Współczynniki determinacji R^2 wskazują ponadto, że zmiany termi-



Ryc. 11. Wieloletnia dynamika terminu połowy odpływu (TPO_j) Pilicy na wodowskazie w Przedborzu

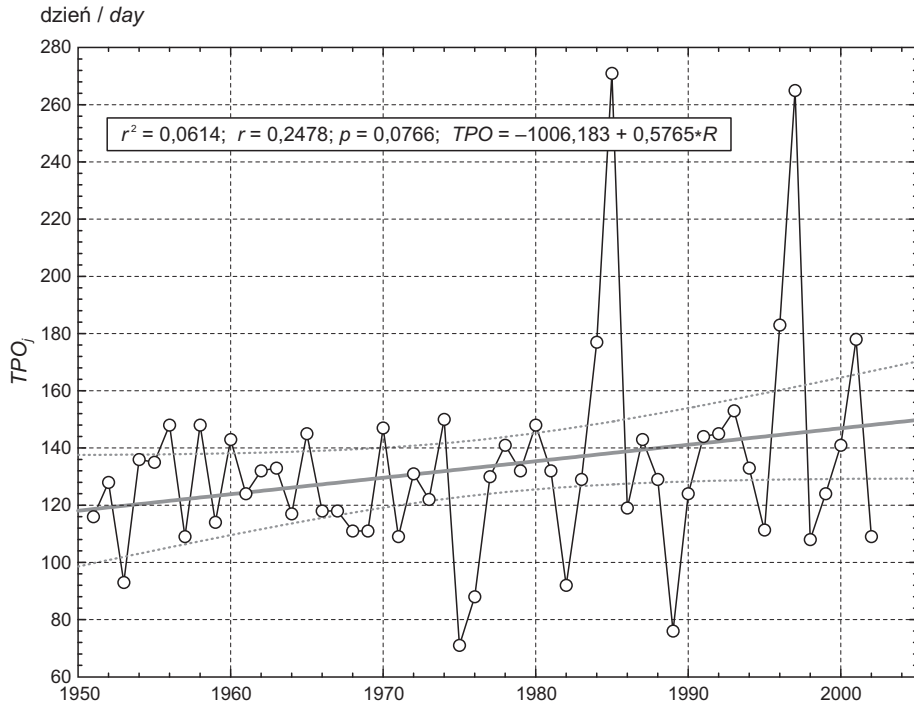
TPO_j – termin połowy odpływu w danym roku; zaznaczono średnią i granice 95% przedziału ufności.

Multiannual dynamics to the half-outflow term (TPO_j) for the Pilica at the Przedbórz gauge station

TPO_j – half-outflow term in the year selected, with mean and 95% confidence limits marked.

nu połowy odpływu każdej z rzek regionu są w 22% do ponad 90% zbieżne ze zmianami zachodzącymi w innej rzece regionu. Różnice między parami rzek są zatem wyraźne, ale z punktu widzenia statystycznego zmiany te należy uznać za: w pełni synchroniczne (jeśli: $R^2 > 70\%$), synchroniczne (jeśli: $50\% < R^2 < 70\%$) lub słabo zsynchronizowane (jeśli: $20\% < R^2 < 50\%$).

Trudno nie doszukać się tutaj echa fluktuacji klimatycznych, które przecież mają charakter wielkoobszarowy i dotyczą zwykle całych regionów, państw, a nawet części kontynentów. Ich skutki, w postaci zmian sezonowej struktury odpływu, muszą zatem mieć podobny zasięg. Relatywnie najmniejsze podobieństwo zmian sezonowej struktury odpływu, mierzone średnim współczynnikiem korelacji wzajemnej, odnotowano w odniesieniu do: Ołoboku, Neru, Rawki,



Ryc. 12. Wieloletnia dynamika terminu połowy odpływu (TPO_j) Ołoboku na wodowskazie w Ołoboku

TPO_j – termin połowy odpływu w danym roku; zaznaczono linię nieistotnego trendu i granice 95% przedziału ufności równania trendu.

Multiannual dynamics to the half-outflow term (TPO_j) for the Ołobok at the Ołobok gauge station

TPO_j – half-outflow term in the year selected, with the non-significant trend line and 95% confidence limits for the trend line equation marked.

Bzury i Kamiennej, a więc przede wszystkim tych rzek, których przepływy były i są nadal coraz mocniej modelowane przez czynniki antropogeniczne – pobory i zrzuty wód, gospodarkę zbiornikową oraz gęstą zabudowę hydrotechniczną. Jednocześnie największe podobieństwo do innych, w aspekcie wieloletniej dynamiki TPO_j , wykazały: Grabia, Pilica, Czarna Maleniecka i Drzewiczka.

Tabela 4. Macierz współczynników korelacji R i determinacji R^2 [%] terminów połowy odpływu w badanej grupie zlewni, w wieloleciu 1960-2002

Matrix for R correlation coefficients and R^2 determination coefficients concerning the half-outflow terms in the studied set of river basins, 1960-2002.

Rzeki <i>Rivers</i>	Bzura	Czarna Mal.	Drzewiczka	Grabia	Luciąża	Mroga	Ner	Oleśnica	Ołobok	Prosna	Rawka	Wolbórka	Pilica	Kamienna
Bzura	1,00	45%	49%	66%	32%	77%	79%	36%	38%	35%	58%	48%	45%	40%
Czarna Mal.	0,67	1,00	92%	69%	76%	58%	40%	53%	40%	55%	55%	55%	92%	64%
Drzewiczka	0,70	0,96	1,00	62%	69%	61%	38%	45%	30%	48%	55%	64%	85%	81%
Grabia	0,81	0,83	0,79	1,00	66%	64%	71%	81%	64%	64%	48%	61%	66%	49%
Luciąża	0,57	0,87	0,83	0,81	1,00	37%	37%	52%	40%	55%	42%	55%	76%	48%
Mroga	0,88	0,76	0,78	0,80	0,61	1,00	64%	41%	37%	45%	64%	61%	58%	45%
Ner	0,89	0,63	0,62	0,84	0,61	0,80	1,00	48%	55%	49%	42%	41%	41%	30%
Oleśnica	0,60	0,73	0,67	0,90	0,72	0,64	0,69	1,00	74%	85%	28%	50%	50%	37%
Ołobok	0,62	0,63	0,55	0,88	0,63	0,61	0,77	0,86	1,00	76%	22%	37%	41%	24%
Prosna	0,59	0,74	0,69	0,88	0,74	0,67	0,70	0,92	0,87	1,00	32%	53%	52%	35%
Rawka	0,76	0,77	0,77	0,69	0,65	0,80	0,65	0,53	0,47	0,57	1,00	53%	61%	53%
Wolbórka	0,69	0,77	0,80	0,78	0,74	0,78	0,64	0,71	0,61	0,73	0,73	1,00	62%	52%
Pilica	0,67	0,96	0,92	0,81	0,87	0,76	0,64	0,71	0,64	0,72	0,78	0,79	1,00	69%
Kamienna	0,63	0,88	0,90	0,70	0,69	0,67	0,55	0,61	0,49	0,59	0,73	0,72	0,83	1,00
R_{sr}	0,69	0,76	0,75	0,79	0,71	0,72	0,68	0,70	0,66	0,71	0,68	0,72	0,76	0,68

R_{sr} – średni współczynnik korelacji / mean correlation coefficient.

Wnioski

Przeprowadzone powyżej analizy upoważniają do przedstawienia kilku wniosków o różnej wadze i stopniu szczegółowości.

- Przeciętną, względną krzywą sumową odpływu dla środkowej Polski można uzyskać posługując się krzywymi poszczególnych zlewni;
- Krzywa ta ma jeden wyraźny punkt przegięcia około 170 dnia roku hydrologicznego (20 kwietnia) i drugi mniej wyraźny około 280 dnia roku hydrologicznego (6 sierpnia);
- Analiza wszystkich, względnych krzywych sumowych i krzywej przeciętnej wskazuje, że badane rzeki mają nadal ustrój śnieżny, lokalnie (badane zlewnie wyżynne) przechodzący w śnieżno-deszczowy słabo wykształcony;
- W połowie roku hydrologicznego (około 1 maja), ze zlewni środkowej Polski odpływa średnio 60% rocznych zasobów wodnych, choć występują istotne różnice międzyzlewniowe; z badanych zlewni wyżynnych i z obszaru Wzniesień Łódzkich prawie 60%, a ze zlewni wschodniej Wielkopolski powyżej 60% (ze zlewni Ołoboku nawet 73%);
- Średnie wieloletnie TPO_{sr} w środkowej Polsce są dość zróżnicowane i zawierają się w przedziale nieco szerszym niż miesiąc. Najwcześniejszy (12 marca) uzyskano dla Ołoboku, najpóźniejszy (17 kwietnia) dla Pilicy;
- Widoczny jest pewien porządek przestrzenny rozmieszczenia TPO_{sr} polegający na tym, że rzeki odwadniające nizinną, zachodnią i północno-zachodnią część analizowanego obszaru mają dużo wcześniejsze TPO_{sr} od tych, które odwadniają wyżynne tereny części wschodniej i południowo-wschodniej;
- Różnice między najpóźniejszymi i najwcześniejszymi TPO_j są w rzekach środkowej Polski dość szerokie i przekraczają zwykle 100 dni, sięgając niekiedy 150 dni (np. Kamienna, Czarna Maleniecka, Oleśnica);
- W aspekcie zmienności TPO_j i kształtu krzywej sumowej (relatywnie duży udział odpływu półrocza letniego) Ner jest podobny do rzek „wyżynnych”. W półroczu ciepłym odbiera on bowiem ogromne ilości szybko spływających wód opadowych pochodzących z kanalizacji burzowej Łodzi, a jednocześnie przez cały rok prowadzi mało zróżnicowane sezonowo ilości allochtonicznych wód pościekowych. Na stosunkowo duże i mało zmienne w czasie zasilanie wodami zużyтыми (odpowiednik podziemnego zasilania) nakładają się zatem duże ilości szybko spływających wód z kanalizacji burzowej (odpowiednik spływu powierzchniowego);
- Długookresowa retencja wód podziemnych na obszarach wyżynnych powoduje, że późny termin połowy odpływu w roku j wpływa znacząco na pojawienie się wczesnego TPO w roku $j+1$ i odwrotnie (zlewnie: Pilicy, Drzewicki, Czarnej Malenieckiej);

– W badanym wieloleciu, zmiany TPO_j w całym zbiorze zlewni odbywały się synchronicznie lub prawie synchronicznie, a obserwowane fluktuacje i zmiany nie miały charakteru trendów statystycznie istotnych.

Biorąc pod uwagę powyższe prawidłowości, można postawić tezę, że wywołane ociepleniem i wzrostem parowania potencjalnego zmiany w rozchodowej części bilansu wodnego w tej części Polski były w badanym okresie na tyle małe, iż nie wywołały jeszcze znaczących i względnie trwałych przemian sezonowej struktury odpływu rzeczny. Także wpływ czynników antropogenicznych (np. regulacja rzek i odpływu, pobory i zrzuty wód, urbanizacja), choć niekiedy widoczny w skali pojedynczych rzek i zlewni, nie przekładał się jeszcze na trwałe, regionalne, czy ponadregionalne zmiany ich ustroju i sezonowego rozmieszczenia odpływu.

Piśmiennictwo / References

- Bartnik A., Jokiel P., 2005, *Niektóre problemy zmian i zmienności rocznego hydrogramu przepływu rzeki na podstawie Pilicy w Przedborzu*, Wiadomości IMGW, 2, s. 5-27.
- Bartnik A., Jokiel P., 2012, *Geografia wezbrań i powodzi rzecznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Jokiel P., 2004, *Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Jokiel P., 2009, *O sezonowym rozmieszczeniu odpływu w wybranych rzekach środkowej Polski*, Wiadomości IMGW, 2-3, s. 15-29.
- Jokiel P., Tomalski P., 2014, *Termin połowy odpływu – próba zastosowania tej charakterystyki i jej pochodnych do oceny zmian i zmienności sezonowej struktury odpływu rzeczny*, [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w mieście*, Monografie Komisji Hydrologicznej PTG – tom 2, Instytut Geografii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce, s. 81-90.
- Jokiel P., Tomalski P., 2016, *Zmiany i zmienność sezonowej struktury odpływu rzeczny w świetle terminu połowy odpływu*, *Gospodarka Wodna*, 1, s. 12-18.
- Szymkiewicz R., Gąsiorowski D., 2010, *Podstawy hydrologii dynamicznej*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Tomalski P., 2011, *Dynamika zasobów płytkich wód podziemnych w województwie łódzkim i na obszarach sąsiednich*, *Acta Geographica Lodziensia*, 97.
- Tomaszewski E., 2012, *Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Węglarczyk S., 2010, *Statystyka w inżynierii środowiska*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- Wrzesiński D., 2013, *Entropia odpływu rzek w Polsce*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań.

[Wpłynęło: lipiec; poprawiono: październik 2015 r.]

PAWEŁ JOKIEL

SEASONALITY TO RIVER OUTFLOW IN CENTRAL POLAND
AND ITS VARIABILITY OVER A MULTIANNUAL PERIOD
REVEALED BY MASS DIAGRAM CURVES AND HALF-OUTFLOW TERMS

The work described here has concerned the assessment and analysis of summation curves and variability to half-outflow terms (TPO_j), as calculated for 14 river basins in central Poland. Given the regimes of particular rivers, their characteristic flows and geographical determinants of their outflows, the selected group of river basins proves very suitable for an investigation regarding the type and amount of hydrological information provided with analyzed characteristics. Specifically, the research was concerned with series of daily discharges from the second half of the 20th century.

Relative mass diagram curves for daily mean outflows were generated for the particular basins, as was a regional summation curve. A relationship between the shapes and numbers of inflection points and river regime was identified, while it proved possible to represent the curve for the outflow in Central Poland using a degree-4 polynomial. This curve has one significant inflection point near the 170th day of the year (20 April), and the second, less visible in the 280th day of the year (6 August). The rivers studied can thus be assumed to have a nival regime, though transforming locally into a not-fully-formed nivo-pluvial regime (in the case of upland rivers). In the middle of the hydrological year (near 1st May), about 60% of water resources are discharged from the Central Poland Basin, though there are some significant differences between basins. For the upland basins and the area of the Łódź Elevation region it is less than 60%, while for the Wielkopolska Lowland basins – much more than 60%.

The half-outflow terms for particular basins and individual years were calculated using the method suggested in the work of A. Bartnik and P. Jokiel (2005). The TPO_j distribution, mean values, multiannual variability and the spatial dimension were all investigated, and extreme values analyzed using quantiles. Both the spatial dimension to the TPO_j and its multiannual variability show certain regularities. The multiannual means for the TPO_{sr} in Central Poland are rather differentiated and are of lengths over one month. The earliest term (12th March) was recorded for the River Ołobok and the latest (17th April) for the Pilica. Some kind of TPO_{sr} spatial dimension order is also to be observed, and is attributable to the fact that rivers draining the lowlands (and thus in the western and north-eastern parts of the area) have their TPO_{sr} earlier than those flowing in the uplands of the eastern and south-eastern parts.

Overall, the second half of the 20th century can be said to have displayed a seasonality to river outflow characterized by weather-influenced fluctuations, with no more constant multiannual trend identified. In the light of the results of the analyses carried out, the half-outflow term can serve as a simple measure by which climatic or anthropogenic changes in the seasonal structure of outflow can be indicated.

