

Izabela Piętka*

WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ WIOSENNEGO ODPLYWU RZEK POLSKICH

Long-term variations of spring runoff of Polish rivers

Abstract. The time series of daily runoff observed in 16 water-gauging stations in Poland in the period 1966-2006 have been subject to analysis of change. In order to detect changes in streamflow in spring of each year, the 95% percentile time series for streamflow from February until April was analysed. Moreover, the day on which 50% of the mass of the total annual streamflow occurred (*CMD, the center of mass data*) was determined. Three statistical tests were used for the analysis of the time series: linear regression, Mann-Kendall test and Spearman's rank correlation. Interpretation of the results is presented, with statistical significance of changes. It has been found that for most of the stations analysed, trends in 95% percentile indicate a decrease. The analysis of the *CMD* time series did not detect the existence of a significant long-term trend since only small changes have been found. The spring runoff occurred earlier in some catchment (negative trends), although in the catchments selected it occurred later (positive trends).

Słowa kluczowe: przepływ, odpływ, rzeki nizinne, wezbrania wiosenne.

Keywords: discharge, river runoff, lowland rivers, spring floods.

WSTĘP

Zmienność roczna odpływu rzek polskich jest wyraźna i zależna od zasilania zlewni kształtowanego przez opady atmosferyczne i temperaturę powietrza. Rodzaj zasilania w półroczu zimowym i letnim decyduje o odmiennym formowaniu odpływu rzek. Początek roku hydrologicznego poprzedzają przeważnie niskie stany wody rzek, wynikające z recesji zasilania podziemnego. W półroczu zimowym ze względu na temperaturę powietrza do powierzchni gruntu mogą docierać opady w postaci stałej lub ciekłej. W sprzyjających warunkach atmosferycznych ($t_p \leq 0^\circ\text{C}$) może formować się pokrywa śnieżna utrzymująca się na-

* e-mail: i.pietka@uw.edu.pl

wet kilka tygodni lub miesięcy. Rzeki zasilane są wówczas wodami podziemnymi, ich przepływ jest niewielki, a stany wody mogą być lokalnie podwyższone wskutek zatorów śryżowych, czy spiętrzeń lodowych. Zatrzymanie wody w postaci retencji śnieżnej w zlewni trwa do odwilży, gdy do obiegu zostaje włączona woda z topniejącej pokrywy śnieżnej. Zasilanie rzek pochodzące z roztopów zachodzi o wiele później niż zlewnia otrzymała pokrywę śnieżną. Roztopy przypadające najczęściej w marcu lub kwietniu mogą mieć znaczny udział w całkowitym rocznym zasilaniu rzek. Stany wody oraz przepływy wówczas wzrastają. Na wielkość i tempo odpływu roztopowego mają wpływ retencja zgromadzonej wody w pokrywie śnieżnej oraz intensywność topnienia zależne od zmiany temperatury powietrza. Należy podkreślić, że opisane procesy są charakterystyczne dla nizinnej i pojeziernej części Polski. W każdym roku hydrologicznym roztopy mogą mieć odmienny przebieg.

Ustrój hydrologiczny rzek polskich jest dobrze rozpoznany, ale stale poszukuje się długookresowej tendencji odpływu, zarówno w wartościach średnich, jak i ekstremalnych (Graczyk i in., 2002; Kasina i in., 2007). W związku z globalnym ociepleniem klimatu można spodziewać się tendencji malejących wezbrań wiosennych, co wynika ze zmniejszania się pokrywy śnieżnej i opadów stałych. Zmiany przebiegu wezbrań roztopowych w USA zostały zbadane przez Dettingera i Cayana (1995) oraz McCabe'a i Clarka (2005). Wyniki wskazują, że odpływ roztopowy pojawia się wiosną coraz wcześniej. Sui i Koehler (2005) stwierdzili tendencję malejącą wezbrania wiosennego przy jednoczesnym wzroście letniego na obszarze Niemiec. Z kolei praca Stewarda i in. (2004) jest próbą prognozowania wielkości i czasu występowania wezbrań wiosennych w funkcji zmieniających się warunków meteorologicznych do roku 2099. Według IPCC (2007) temperatura powietrza Ziemi wykazuje tendencję rosnącą. W poszczególnych miesiącach wielkość zmian, jak również ich kierunek mogą być różne. Zmiany termiczne na obszarze Polski były oceniane przez Kożuchowskiego (red., 2000), Fortuniaka i in. (2001), Kożuchowskiego i Żmudzką (2001), Marsza (2005). Wymienieni autorzy są zgodni, że w ostatnich kilkudziesięcioleciach zaznaczają się różnokierunkowe zmiany warunków termicznych w poszczególnych miesiącach roku. Najbardziej zauważalne jest ocieplenie stycznia, lutego i marca. Z kolei w listopadzie i grudniu obserwuje się trend malejący. Przyczynę ochłodzenia początku półrocza zimowego upatruje się w zmianach regionalnej cyrkulacji atmosferycznej, spowodowanych wzrostem zasobów ciepła w wodach północno-wschodniego Atlantyku w sierpniu i wrześniu. Zmiany w systemie ocean-atmosfera wpływają na wzrost częstości adwekcji powietrza z wyższych szerokości geograficznych na obszar Polski w początkach zimy (Marsz, 2005).

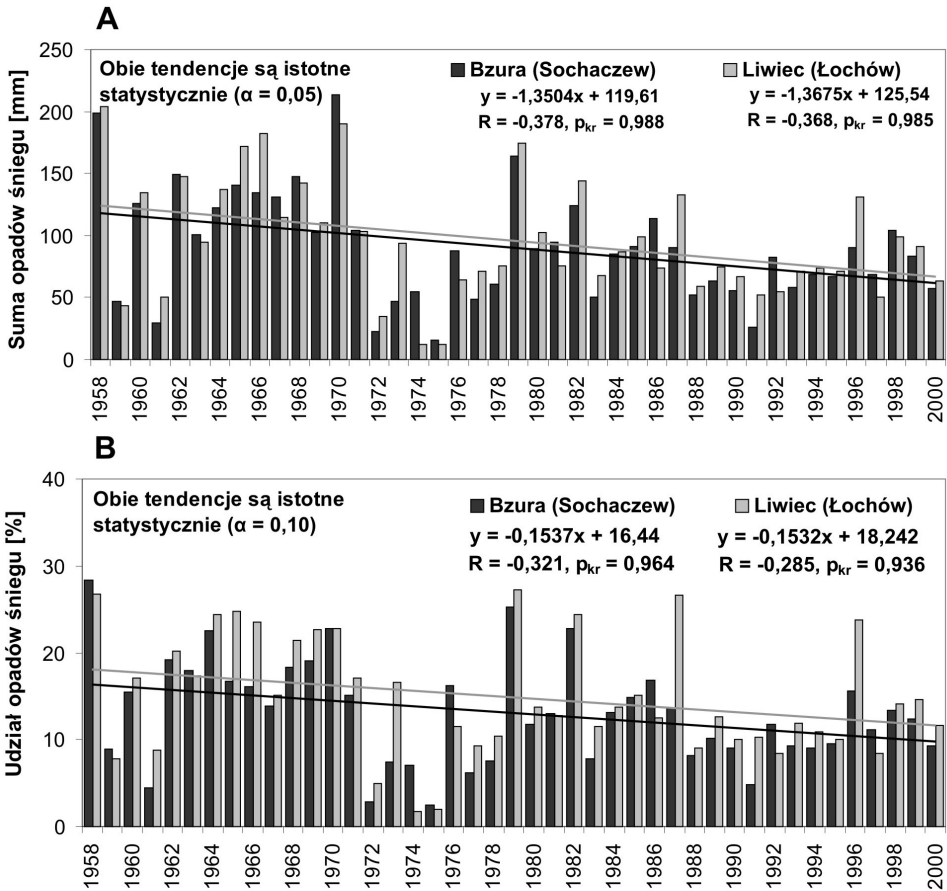
Zauważalne są również zmiany w sumie opadów stałych. W USA zarysowuje się tendencja do zmniejszania się sumy opadów śniegu, przy niezmiennej

sumie opadów rocznych (Knowles i in., 2006). Ye i in. (1998) analizowali sumy opadów śniegu wraz z miąższością pokrywy śnieżnej na obszarze Rosji w ciągu 48 lat (1936–1983). W południowej części kraju utrzymuje się tendencja do zmniejszania się opadów śniegu, jednak w części północnej tendencja jest odwrotna. W Polsce zmienność opadów śniegu w wieloleciu 1958–2000 w nizinnych zlewniach Bzury i Liwca analizowano na podstawie danych z reanaliz meteorologicznych¹ (Piętka, 2008). Wykorzystano dobowe parametry meteorologiczne (temperatura powietrza, opad atmosferyczny, opad śniegu, grubość pokrywy śnieżnej, topnienie śniegu) przypisane punktom węzłowym regularnej siatki pochodzące z bazy danych Uniwersytetu Princeton (USA) oraz Europejskiego Centrum Średnioterminowych Prognoz Meteorologicznych z siedzibą w Wielkiej Brytanii (ang. *The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Rozdzielczość przestrzenna obu baz danych jest różna i wynosi odpowiednio 1° na 1° oraz 2,5° na 2,5° szerokości i długości geograficznej. Jak wynika z danych, roczna suma opadów śniegu i ich udział w opadzie całkowitym ulegają zmniejszeniu nawet o 20% w dorzeczu Bzury (Rys. 1). Analizie poddano również czas trwania pokrywy śnieżnej. Obydwa ciągi czasowe wykazują istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,10$ tendencje malejące. Należy podkreślić, że pokrywa śnieżna pojawiała się w poszczególnych latach coraz wcześniej np. w dorzeczu Bzury o 3 dni wcześniej w ciągu 10 lat, jak również coraz wcześniej zanikała. Jest to zgodne ze stwierdzonym ochłodzeniem w początkowej fazie zimy, ale także wcześniejszym początkiem wiosny.

Różnokierunkowe zmiany temperatury powietrza w półroczu zimowym mają niewątpliwy wpływ na tempo procesów hydrologicznych. Powstają następujące pytania: czy wcześniejsza zima oraz wcześniejsza wiosna mogą wpływać na termin wystąpienia maksymalnego przepływu oraz jaki wpływ może mieć temperatura powietrza i suma opadów śniegu na tempo zasilania i formowania przepływu rzeki.

Celem niniejszego artykułu jest analiza przebiegu odpływu w okresie wiosny. Oceniono tendencję, termin oraz wielkość odpływu wiosennego w wybranych 16 zlewniach. Wybór obiektów badawczych nie był przypadkowy, lecz wiązał się z regionami o największym zasilaniu śnieżnym obejmującym jednocześnie roztopami niemal cały obszar zlewni. Wezbrania roztopowe występują tutaj najczęściej, stanowiąc zagrożenie dla mieszkańców i obszarów dolinnych. Dynowska (1994) zalicza wybrane rzeki do hydrologicznego ustroju śnieżnego – silnie, średnio i słabo wykształconego, co przedstawia rysunek 2.

¹ Reanaliza meteorologiczna jest to proces złożony z analizy jakościowej oraz asymilacji danych pochodzących z różnych źródeł (dane pomiarowe *in situ*, teledetekcyjne itd.) prowadzący do uzyskania ujednoliconych długich serii danych, najczęściej interpolowanych do punktów węzłowych regularnej siatki.

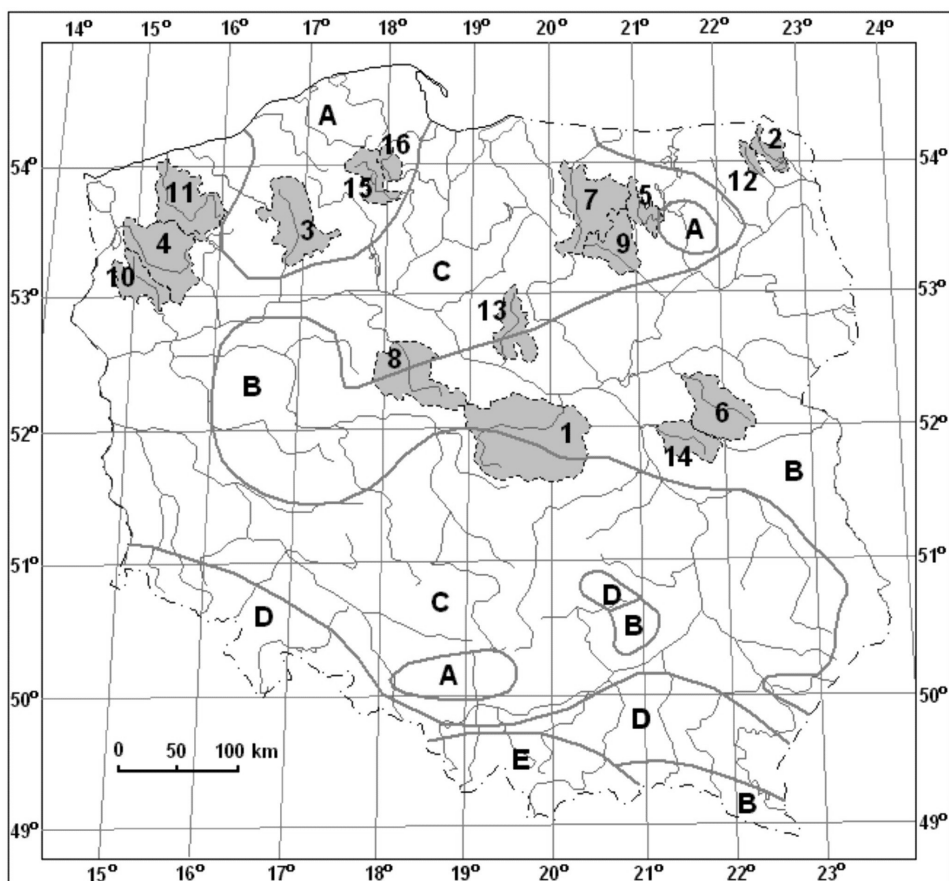


Objaśnienia: x - rok hydrologiczny, y - suma opadów śniegu (A) lub udział opadów śniegu w ogólnej sumie opadów (B), R - współczynnik korelacji, p_{kr} - krytyczny poziom istotności

Explanations: x - hydrological year, y - annual snowfall (A) or contribution of snowfall to annual precipitation (B), R - correlation coefficient, p_{kr} - critical significance level

Rys. 1. Średnie roczne sumy opadów śniegu (A) oraz ich udział w ogólnej sumie opadów atmosferycznych (B) w zlewniach Bzury i Liwca w wieloleciu 1958–2000 opracowane na podstawie bazy danych Uniwersytetu Princeton (Piętka, 2008)

Fig. 1. Average annual snowfall (A) and contribution of snowfall to annual precipitation (B) in Bzura and Liwiec catchments in years 1958–2000 on the basis of dataset Princeton University (Piętka, 2008)



Objaśnienia: A - ustrój śnieżny słabo wykształcony; B - ustrój śnieżny silnie wykształcony; C - ustrój śnieżny średnio wykształcony; D - ustrój śnieżno-deszczowy; E - ustrój deszczowo-śnieżny

Rys. 2. Lokalizacja zlewni badanych na tle klasyfikacji ustrojów rzecznych wg Dynowskiej (1994)

Numeracja zlewni wg tabeli 1

Fig. 2. Location of catchments investigated together with the types of river regime acc. Dynowska (1994)

Numbers correspond to table 1

METODY BADAŃ

Jak wspomniano analizę odpływu wiosennego przeprowadzono w 16 zlewniach nizinnych i pojeziernych. Największą powierzchnię posiada Bzura po profil w Sochaczewie (6258 km²), najmniejszą zaś Wierzyca po profil Bożepole Szlacheckie (264 km²). Dane obejmują wielolecie 1966–2006, jedynie seria danych przepływów dobowych Bzury jest nieco krótsza, kończy się na roku 2002.

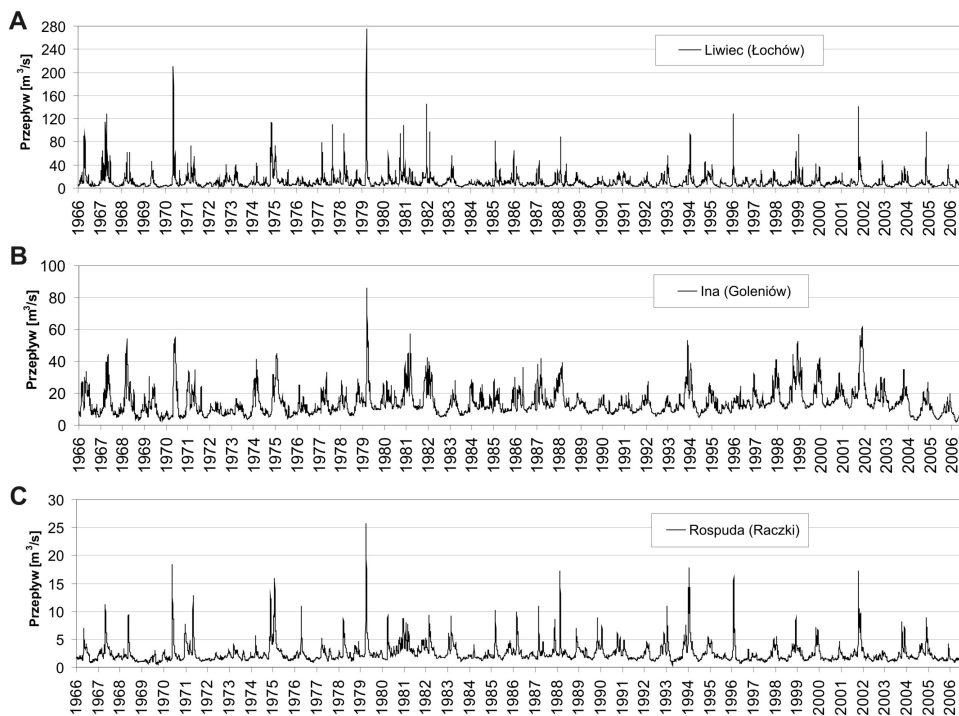
Analizie poddano wartości kwantyla 95% obliczonego z dobowych wartości przepływu okresu odpływu wiosennego w danym roku hydrologicznym. Za okres odpływu wiosennego przyjęto miesiące: luty, marzec, kwiecień. Miara kwantylowa nie uwzględnia najwyższych przepływów w roku hydrologicznym. W celu zbadania prawidłowości odpływu wiosennego wyznaczono datę, do której odpływ stanowił 50% wartości rocznej. Jest to charakterystyka hydrologiczna *CMD* (ang. *the center of mass data*) przyjęta przez McCabe'a i Clarka (2005).

Zastosowano trzy testy statystyczne, określające kierunek i tempo zmian. Statystyką testu parametrycznego opartego na regresji liniowej jest współczynnik korelacji Pearsona. Może być stosowany przy założeniu niezależności ciągów o rozkładzie zbliżonym do normalnego. Test korelacji rang Spearmana wykorzystuje również metodę regresji liniowej, jednak współczynnik korelacji jest obliczany według rang przyporządkowanych do zmiennych. Jest to test nieparametryczny, którego założeniem jest niezależność wartości w analizowanym ciągu. Podobnie jest w przypadku testu Manna-Kendalla opartego na statystyce tau. Zastosowanie testów statystycznych w wykrywaniu zmian czasowych procesów hydrologicznych przedstawili między innymi Kundzewicz i in. (2002) oraz Kasina i in. (2007).

Statystyki testów, poziomy istotności oraz ocena niezależności serii danych zostały obliczone za pomocą programu *Hydrospect* wersja 2.0. (Radziejewski, Kundzewicz, 2004). W każdym przypadku podano osiągnięty krytyczny poziom istotności p_{kr} , na jakim hipotezę braku zmian należy odrzucić. W programie *Hydrospect* przyjęto założenie, że im większy jest poziom istotności, tym zmiany są silniejsze i wykryte z większą pewnością. Założenie o niezależności elementów serii danych zostało zbadane za pomocą testu Fiszera oraz testu punktów zwrotnych Kendalla. Założenia o normalności rozkładów sprawdzono dwoma testami: Kołmogorowa-Smirnowa oraz Shapiro-Wilka za pomocą programu *Statistica* wersja 8.

ZMIENNOŚĆ ILOŚCIOWA ODPLYWU WIOSENNEGO RZEK

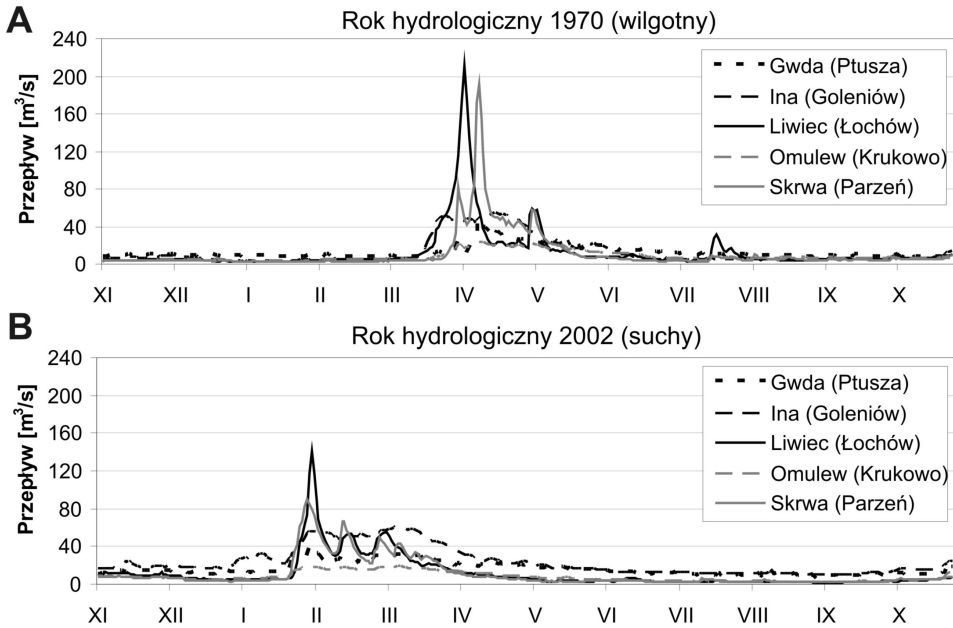
Rysunek 3 przedstawia przepływ dobowy w wieloleciu 1966–2006 trzech wybranych rzek Liwca (A), Iny (B) i Rospudy (C). Widoczne jest wyraźne wez-



Rys. 3. Dobowe przepływy Liwca (A), Iny (B) i Rospudy (C) w wieloleciu 1966–2006
Fig. 3. Daily streamflow of Liwiec (A), Ina (B) and Rospuda (C) rivers in years 1966–2006

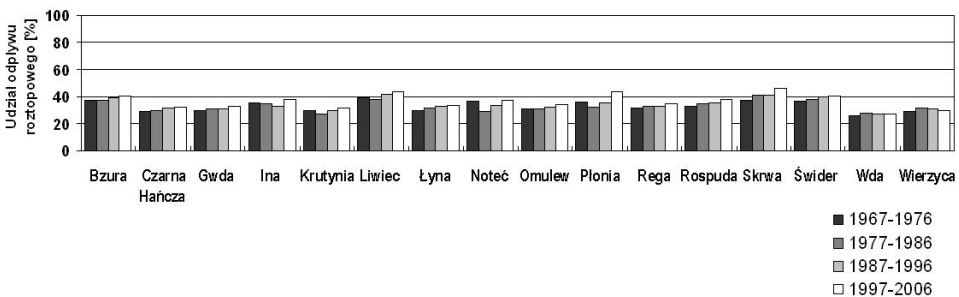
branie wiosenne. Ponadto w celach porównawczych przedstawiono przepływ w roku wilgotnym 1970 oraz roku suchym 2002 pięciu rzek Gwdy, Iny, Liwca, Omulewa i Skrwy (Rys. 4). W roku wilgotnym przepływ w okresie odpływu wiosennego (luty, marzec, kwiecień) był większy niż w suchym. Suma odpływu w tych miesiącach w wieloleciu 1966–2006 średnio wyniosła od 27 % w zlewni Wdy do 41 % w zlewni Liwca. Udział odpływu wiosennego w całkowitym nie uległ zasadniczej zmianie, brak istotnych zmian na poziomie $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,10$. Ponadto kierunek zmian odpływu rzek nie jest zgodny, zaś ich tempo nieznaczne. Udział odpływu okresu wiosennego w rocznym w kolejnych dziesięcioleciach: 1967–1976, 1977–1986, 1987–1996, 1997–2006 jest zbliżony (Rys. 5).

Kwantyl 95% okresu odpływu wiosennego szesnastu rzek w latach hydrologicznych, dopasowanie prostych regresji wraz ze współczynnikami korelacji przedstawiono na rysunku 6. Tempo oraz kierunek pozwoliły ocenić również korelacja rang Spearmana oraz test Manna-Kendalla. Uzyskane statystyki tych testów wraz z odpowiadającymi poziomami istotności przedstawia tabela 1.



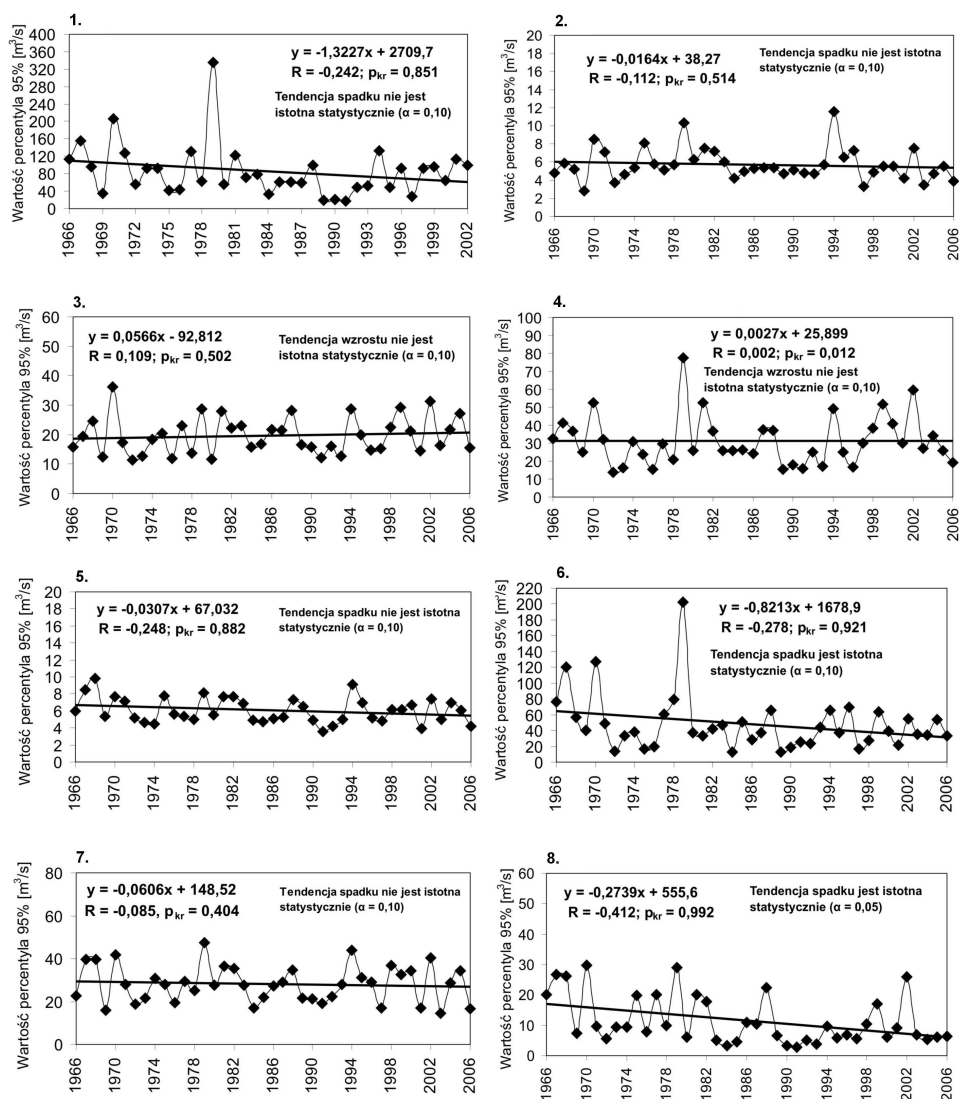
Rys. 4. Dobowe przepływy Gwdy, Iny, Liwca, Omulewa, Skrwy w wybranych latach hydrologicznych 1970 (A) i 2002 (B)

Fig. 4. Daily streamflow of Gwda, Ina, Liwiec, Omulew, Skrwa rivers in selected hydrological years 1970 (A) and 2002 (B)



Rys. 5. Udział odpływu wiosennego w odpływie rocznym (%) w kolejnych 4 dekadach: 1967–1976, 1977–1986, 1987–1996, 1997–2006

Fig. 5. Contribution of spring runoff to annual runoff (%) in four consecutive decades: 1967–1976, 1977–1986, 1987–1996, 1997–2006



Rys. 6. Wartości percentyla 95% odpływu wiosennego w wieloleciu 1966–2006 badanych zlewni: 1. Bzura po Sochaczew, 2. Czarna Hańcza po Czerwony Folwark, 3. Gwda po Ptuszę, 4. Ina po Goleniów, 5. Krutynia po Uktę, 6. Liwiec po Łochów, 7. Łyna po Smolajny, 8. Noteć po Pakość, 9. Omulew po Krukowo, 10. Płonia po Żelewo, 11. Rega po Trzebiatów, 12. Rospuda po Raczki, 13. Skrwa po Parzeń, 14. Świder po Wólkę Mładzką, 15. Wda po Czarną Wodę, 16. Wierzyca po Bożepole Szlacheckie (numeracja zlewni zgodna z tabelą 1.)

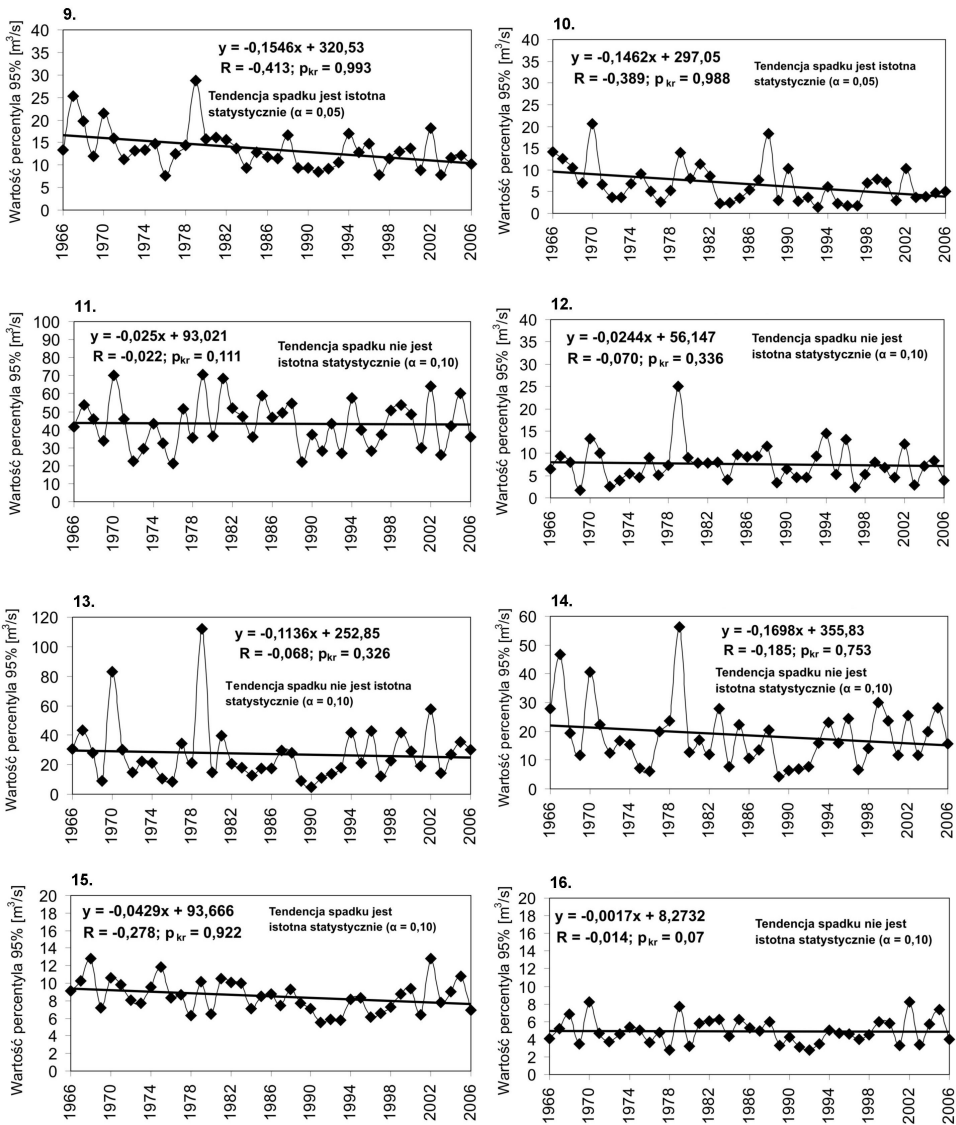


Fig. 6. Values of 95% percentyl for spring runoff in years 1966–2006 of catchments investigated: 1. Bzura up to Sochaczew, 2. Czarna Hańcza up to Czerwony Folwark, 3. Gwda up to Ptuszę, 4. Ina up to Goleniów, 5. Krutynia up to Uktę, 6. Liwiec up to Łochów, 7. Łyna up to Smolajny, 8. Noteć up to Pakość, 9. Omulew up to Krukowo, 10. Płonia up to Żelewo, 11. Rega up to Trzebiatów, 12. Rospuda up to Raczki, 13. Skrwa up to Parzeń, 14. Świder up to Wólkę Mładzką, 15. Wda up to Czarną Wodę, 16. Wierzyca up to Bożepole Szlacheckie (numbers correspond to table 1)

Tab. 1. Wyniki testów statystycznych dla szeregów czasowych wartości percentyla 95% okresu odpływu wiosennego analizowanych rzek w wieloleciu 1966–2006

Tab. 1. Results of statistical tests and the level of significance for 95% percentyl for spring runoff in years 1966–2006

Lp	Rzeka – profil hydrologiczny	Korelacja rang Spearmana		Test Manna – Kendalla	
		współczynnik korelacji R	poziom istotności	statystyka testu τ	poziom istotności
1	Bzura – Sochaczew ⁽¹⁾	-0,190	0,739	-1,086	0,722
2	Czarna Hańcza – Czerwony Folwark	-0,156	0,670	-1,012	0,688
3	Gwda – Ptusza	0,133	0,592	0,820	0,588
4	Ina – Goleniów	0,022	0,109	0,124	0,098
5	Krutynią – Ukta	-0,240	0,870	-1,619	0,894
6	Liwiec – Łochów	-0,208	0,809	-1,236	0,783
7	Łyna – Smolajny	-0,070	0,336	0,449	0,347
8	Noteć – Pakość	-0,398	0,990	-2,314	0,979
9	Omulew – Krukowo	-0,403	0,991	-2,562	0,990
10	Płonia – Żelewo	-0,360	0,979	-2,190	0,972
11	Rega – Trzebiatów	0,001	0,006	0,045	0,036
12	Rospuda – Raczki	-0,074	0,353	-0,247	0,195
13	Skrwa – Parzeń	0,028	0,139	0,191	0,151
14	Świder – Wólka Mładzka	-0,076	0,362	-0,393	0,306
15	Wda – Czarna Woda	-0,293	0,937	-1,854	0,936
16	Wierzycza – Bożepole Szlacheckie	-0,046	0,223	-0,326	0,256

(1) dla okresu 1966–2002

Wszystkie ciągi kwantyla 95% według testu Fiszta są niezależne. Z kolei test punktów zwrotnych Kendalla w dwóch zlewniach (Krutyni i Płoni) wskazuje na istotne powiązanie elementów ciągów. Rozkład zgodny z normalnym potwierdzono testem Kołmogorowa-Smirnowa w przypadku czternastu szeregów czasowych kwantyla 95%, a testem Shapiro-Wilka w 5 przypadkach. Kwantyl 95% odpływu wiosennego większości rzek wykazuje tendencję malejącą, co oznacza coraz niższe przepływy w miesiącach luty, marzec kwiecień. Maksymalna wartość kwantyla 95% odpływu wiosennego wszystkich rzek z wyjątkiem Czarnej Hańczy została zaobserwowana do roku 1980. Należy podkreślić, że tempo wykrytych ujemnych zmian różnych rzek jest zróżnicowane. Zmiany wahają się według analizy regresji od $0,02 \text{ m}^3/\text{s}/10 \text{ lat}$ (Wierzyca) do $> 13,00 \text{ m}^3/\text{s}/10 \text{ lat}$ (Bzura). Silnym zmianom podlega Liwiec ($>8 \text{ m}^3/\text{s}/10 \text{ lat}$) oraz Noteć ($\sim 3 \text{ m}^3/\text{s}/10 \text{ lat}$). Mniejsze zróżnicowanie tendencji uzyskano według korelacji rang Spaermana od $0,20 \text{ m}^3/\text{s}/10 \text{ lat}$ (Ina) do $4,03 \text{ m}^3/\text{s}/10 \text{ lat}$ (Omulew). Tendencje malejące percentyla 95% odpływu wiosennego Noteci, Omulewa i Płoni na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ potwierdziły trzy zastosowane testy. Jednak odpływ wiosenny Noteci i Płoni wszystkich założeń testów nie spełniło. Zastosowane testy korelacji rang Spearmana i Manna-Kendalla w pięciu rzekach (Gwda, Ina, Łyna, Rega, Skrwa) wskazują tylko nieznaczne tendencje do zwiększania przepływu wiosennego.

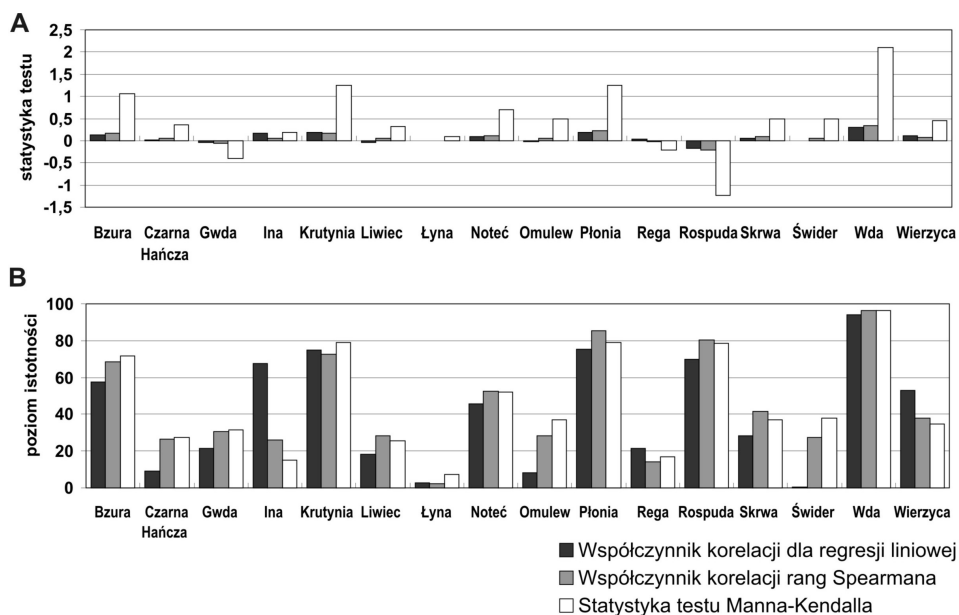
ZMIENNOŚĆ CZASOWA ODPLYWU WIOSENNEGO RZEK

Jak wspomniano wcześniej charakterystyka *CMD* może wskazywać zmianę terminu wystąpienia wezbrania wiosennego. Można zaryzykować stwierdzenie, że jego wcześniejsza data kontrolowana wystąpieniem 50% odpływu świadczy o wpływie ocieplenia zimowego. Maksymalne przepływy rzek analizowanego wielolecia (1966–2006) w ponad 70% przypadków zdarzyły się od lutego do kwietnia. Wartości *CMD* w każdym roku hydrologicznym utworzyły szeregi czasowe, które poddano analizie. Niezależność wszystkich ciągów *CMD* została potwierdzona za pomocą testów Fiszta i punktów zwrotnych Kendalla. Rozkład zgodny z normalnym wszystkich szeregów potwierdza test Kołmogorowa-Smirnowa. Z kolei Test Shapiro-Wilka potwierdza rozkład normalny dwunastu szeregów czasowych *CMD*, wyjątek stanowią 4 ciągi danych dotyczących Liwca, Noteci, Rospudy i Wierzyca.

Najwcześniej 50% odpływu rocznego średnio uzyskała Skrwa. Średnie najwcześniejsze *CMD* oznacza 142 dzień roku (22 marca). Z kolei najpóźniejsze 163 dzień roku (12 kwietnia) osiągają Płonia i Wda. Analiza średnich *CMD* w czterech dekadach (1967–1976, 1977–1986, 1987–1996, 1997–2006) nie wykazała znaczących zmian. Wszystkie średnie wartości *CMD* wskazują na ma-

rzec bądź kwiecień. Bardziej wyraziste jest zróżnicowanie przestrzenne. W obszarze nizin środkowopolskich reprezentowanych przez Bzurę, Liwiec, Skrwę i Świder 50% uzyskują rzeki o kilka, a nawet kilkanaście dni wcześniej niż w obszarze pojeziernym (Czarna Hańcza, Gwda, Wda, Łyna). Znaczących różnic pomiędzy wschodnimi a zachodnimi zlewniami nie stwierdzono.

Analiza szeregów czasowych CMD 16 rzek wskazuje na nieistotność zmian, zaś ujawnione tendencje liniowe nie są zgodne (Rys. 7). Pięć rzek (Gwda, Liwiec, Omulew, Rospuda, Świder) wykazało malejącą tendencję według analizy regresji oraz trzy rzeki (Gwda, Rega, Rospuda) według pozostałych testów. W pozostałych rzekach wykryto tendencję rosnącą, odpływ wiosenny z przesunięciem czasowym (opóźnieniem) od 1 do 4 dni. W przypadku rzeki Wdy powyższe zmiany są istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,10$, a nawet $\alpha = 0,05$ w przypadku testów korelacji rang Spearmana i Manna-Kendalla. Połowę odpływu rocznego Wda osiąga średnio o 3–4 dni później w ciągu 10 lat.



Rys. 7. Wyniki testów statystycznych (A) oraz poziom istotności (B) szeregów czasowych CMD analizowanych rzek w wieloletniu 1966–2006

Fig. 7. Results of statistical tests (A) and the level of significance (B) for CMD time series in years 1966–2000

PODSUMOWANIE

Najwyraźniejsze zmiany odpływu wiosennego rzeki nizinne i pojezierne wykazują wg wartości kwantyla 95%. W ostatnich 4 dekadach następuje wyraźne lub mniej zaznaczone zmniejszanie przepływu. Przepływ większości rzek układa się zgodnie z tendencją malejącą wg kwantyla 95%, co może pośrednio wskazywać na coraz mniejsze znaczenie wezbrania wiosennego. W kilku przypadkach trend odpływu wiosennego jest istotny statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$. Zaobserwowano zmiany o kilka procent w stosunku do średniego przepływu w ciągu 10 lat, największe w Liwcu (7,7%). We wszystkich rzekach największą wartość kwantyla 95% uzyskuje przepływ w lutym, bądź w marcu, taka tendencja utrzymuje się do końca lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku.

Uzyskane wyniki potwierdzają zmniejszanie udziału odpływu wiosennego, co wskazuje na mniejszy udział zasilania śnieżnego w jego formowaniu. Termin odpływu nie wykazuje jednoznacznych, wyraźnych zmian. Symptomy wcześniejszego występowania kulminacji wiosennej wykazuje pięć rzek. Zmienne hydrologiczne podlegają mniejszym tendencjom niż parametry meteorologiczne. Potwierdzenia tezy o zmianach tendencji odpływu wiosennego należałoby odnajdywać także w wielu innych zlewniach, w tym wyżynnych i górskich. Wskazane byłoby również porównanie wyników z przebiegiem czynników meteorologicznych wpływających na tempo roztopów i decydujących o kształtowaniu wezbrań wiosennych rzek.

Literatura

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Pietras K., Bijak S., Błażek E., Skrzypczuk J., 2005, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce, T. XIX: Cechy termiczne klimatu Europy*, Wydawnictwo WGiSR, UW, Warszawa.
- Dettinger M.D., Cayan D.E., 1995, Large-scale atmospheric forcing of recent trends toward early snowmelt runoff in California, *Journal of Climate*, 8(3), s. 606– 623.
- Dynowska I., 1994, *Reżim odpływu rzeczny*, plansza 32.3 *Odpływ rzeczny* [w:] Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, IGiPZ PAN, Główny Geodeta Kraju, PPWK im. E. Romera S.A., Warszawa.
- 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.
- Graczyk D., Kundzewicz Z. W., Szwed M., 2002, Zmienność przepływów rzeki Warty w Poznaniu, 1822–1994 [w:] *Detekcja zmian klimatu i procesów hydrologicznych*, red. Z. W. Kundzewicz, M. Radziejewski, ZBŚRiL PAN, Wyd. SURUS, Poznań.
- IPCC (ang. *International Panel on Climate Change*), 2007, *Climate Change 2007, Synthesis Report*, Cambridge University Press, Cambridge, [<http://www.ipcc.ch/>], stan w dniu 20.02.2009 r.

- Kasina M., Pociask-Karteczka J., Nieckarz Z., 2007, Tendencje występowania wysokich przepływów w dorzeczu Dunajca w II połowie XX wieku, *Folia Geographica, Series GEOGRAPHICA-PHYSICA*, t. 35–36, s. 5–33.
- Knowles N., Dettinger M.D., Cayan D.R., 2006, Trends in Snowfall versus Rainfall in the Western United States, *Journal of Climate*, nr 18, s. 4545–4559.
- Kożuchowski K. (red.), 2000, *Pory roku w Polsce: sezonowe zmiany w środowisku, a wieloletnie tendencje klimatyczne*, UŁ, Łódź.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku, *Przegląd Geofizyczny*, 46, z. 1–2, s. 81–90.
- Kundzewicz Z.W., Radziejewski M., Robson A., 2002, Wprowadzenie do metodyki detekcji zmian [w:] *Detekcja zmian klimatu i procesów hydrologicznych*, red. Z. W. Kundzewicz, M. Radziejewski, ZBŚRiL PAN, Wyd. SURUS, Poznań.
- Marsz A.A., 2005, O przyczynach „wcześniejszego następowania zimy” na obszarze Europy nadbałtyckiej w ostatnim 30-leciu XX wieku, *Przegląd Geograficzny*, 77, z. 3, s. 289–310.
- McCabe G.J., Clark M.P., 2005, Trends and Variability in Snowmelt Runoff in the Western United States, *Journal of Hydrometeorology*, z. 6, AMS, Boston, s. 476–482.
- Piętka I., 2008, *Rola zasilania śnieżnego w odpływie rzek nizinnych*, praca magisterska, maszynopis w Zakładzie Hydrologii WGiSR UW, Warszawa.
- Radziejewski M., Kundzewicz Z.W., 2004, *Hydrospect. Version 2.0, User's Manual*.
- Steward I.T., Cayan D.R., Dettinger M.D., 2004, Changes in snowmelt runoff timing in Western North America under a “business as usual” climate change scenario, *Climate Change*, 62, s. 217–232.
- Sui J., Koehler G., 2001, Rain-on-snow induced flood events in Souther Germany, *Journal of Hydrology*, 252, s.205–220.
- Ye H., Cho H., Gustafson P., 1998, The changes in Russian winter snow accumulation during 1936–1983 and its spatial patterns, *Journal of Climate*, nr 11, s. 856–863.