

TENDENCJE ZMIAN PRZEPŁYWU RZEK POLSKI W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU

DARIUSZ WRZESIŃSKI

ZARYS TREŚCI

W pracy przedstawiono wyniki analizy trendów w średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych przepływach rzek w Polsce. Badaniu poddano 148 serii przepływów z profili rzecznych zlokalizowanych na 91 rzekach, charakteryzujących się naturalnymi lub quasi-naturalnymi warunkami odpływu. W pracy wykorzystano nieparametryczny test Manna-Kendalla, a analizę trendów przeprowadzono dla dziewięciu okresów w wieloleciu 1951–2000. Wyniki analizy przedstawiono w formie tabelarycznej i graficznej, co pozwoliło na charakterystykę przestrzennego zróżnicowania tendencji zmian przepływów na polskich rzekach. Badania potwierdziły wyraźną zmianę w trendach przepływów w latach 70. XX w., kiedy nastąpiła istotna zmiana kierunku trendów z rosnących na malejące.

WPROWADZENIE

Poznanie współczesnych zmian warunków klimatycznych oraz ich hydrologicznych konsekwencji należy do istotnych zagadnień w badaniach hydroklimatycznych. Badania dotyczące wahań i zmian klimatu realizowane są zazwyczaj poprzez wykrywanie trendów w zmiennych hydroklimatycznych – głównie temperaturze powietrza, opadach atmosferycznych i odpływie rzeczny. Ich analiza może być podstawą określenia przyczyn obserwowanego w ostatnich latach wzrostu anomalii klimatycznych i hydrologicznych.

W obszernej literaturze klimatologicznej często prace dotyczą wieloletnich tendencji zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Zwraca się w nich uwagę na ocieplenie w Polsce w drugiej połowie XX w., szczególnie obserwowane w latach 80. i 90. (FORTUNIAK i in. 2001; KOŻUCHOWSKI, ŻMUDZKA 2001, 2002; KOŻUCHOWSKI 2004a). Autorzy wśród jego przyczyn wymieniają czynniki solarne i cyrkulacyjne – nasilenie strefowej, zachodniej cyrkulacji atmosferycznej, rozwój nad Polską południowej składowej cyrkulacji, a także rosnące od lat 70. XX w. usłonecznienie i sumy całkowitego promieniowania słonecznego powodujące wzrost temperatury powietrza głównie latem (BOGDAŃSKA, PODOGROCKI 2000; PODSTAWCZYŃSKA 2004). Natomiast wyniki badań wieloletnich tendencji opadów atmosferycznych świadczą zazwyczaj o braku istotnego statystycznie trendu wysokości opadów (ŻMUDZKA 2002; KOŻUCHOWSKI 2004b). Autorzy zwracają jednocześnie uwagę na nadmiar opadów w latach 60. i 70. i niedostatek w latach 50. w stosunku do średniej wieloletniej 1951–2000. KOŻUCHOWSKI (2004b) zauważa istotną kore-

lację sum opadów letnich i zimowych ze średnią temperaturą powietrza, co sprawia, że z postępującym ociepleniem obserwuje się wzrost opadów w czasie cieplejszych zim, ich spadek zaś podczas gorących lat.

Literatura dotycząca wieloletnich zmian odpływu rzek Polski nie daje jednoznacznych wniosków co do czasowej, jak i przestrzennej zmienności. Powstałe prace dotyczą zazwyczaj statystycznej analizy zmiennych hydrologicznych w różnych okresach XX w. i opierają się często na skromnym materiale hydrometrycznym (małej liczbie ciągów pomiarowych), co utrudnia przestrzenną analizę kierunku zmian odpływu.

Pierwsze wnikliwe analizy wieloletniej tendencji odpływu przeprowadził STACHÝ (1968) na podstawie serii przepływów Wisły i Odry oraz Łaby i Niemna z lat 1901–1965, wykazując ujemne tendencje odpływu. W późniejszych pracach autor sformułował prognozę wzrostu odpływu (STACHÝ 1969, 1970), a następnie ją potwierdził, stwierdzając wzrost odpływu w latach 1971–1980 o 20% w porównaniu z odpływem z lat 1951–1970 (STACHÝ 1984a, 1984b). JOKIEL i KOŻUCHOWSKI (1989) analizując zmiany charakterystyk hydrologicznych Odry i Wisły w latach 1901–1980, stwierdzili istotny statystycznie wzrost rocznych odpływów Wisły (posterunek Tczew). Natomiast FAL (1993) na podstawie 90-letniej (1901–1990) serii obserwacyjnej przepływów Odry (Gozdowice) i Wisły (Tczew) stwierdziła dodatni, jednak nieistotny statystycznie, trend zmian. Badaniem długookresowej zmienności odpływów między innymi Wisły i Odry zajmowali się również GUTRY-KORYCKA i BORYCZKA (1990), analizując ciągi z lat 1901–1980, oraz POKOJSKA (1999) poszukująca zmian w rocznych wartościach współczynników odpływu w okresie 1922–1985. STACHÝ i współpracownicy (1996) badający wieloletnie tendencje największych rocznych przepływów w 12 profilach na rzekach dużych i średnich oraz siedmiu mniejszych w latach 1921–1992 stwierdzili tendencje malejące, niekiedy istotne statystycznie. Z badań dotyczących oceny wielkości zasobów wód powierzchniowych Polski (FAL, BOGDANOWICZ 2002) w przekrojach ujściowych Wisły (Tczew) i Odry (Gozdowice) w latach 1901–2000 wynika, że nie obserwuje się stałej tendencji zmian odpływu. Autorzy stwierdzili, że lata 1951–2000 charakteryzowały się większym o 1,5% średnim odpływem z obszaru Polski niż okres stuletni i uznali drugą połowę XX w. za reprezentatywną do oceny zasobów wodnych.

Zmiany warunków odpływu w drugiej połowie XX w. były przedmiotem badań między innymi FAL i BOGDANOWICZ (2002), analizujących 50-letnią serię danych z 11 profili na głównych rzekach Polski. Również JOKIEL i BARTNIK (2001) zbadali sezonowe i wieloletnie zmiany odpływu rzek w latach 1951–1998 na podstawie serii średnich miesięcznych odpływów, ale tylko z trzech dużych zlewni w środkowej Polsce. Zmiany odpływu na obszarze Polski, w krótszym okresie – w latach 1971–1990 – były przedmiotem badań BARTNIKA i JOKIELA (1997). Analiza 121 serii przepływów średnich i średnich rocznych z minimum miesięcznych oraz współczynników odpływu pozwoliła ustalić terminy zerwania szeregów czasowych w latach 1973–1974 i 1981–1982. Z badań rzek karpaccich wynika brak statystycznie istotnych tendencji wysokich przepływów w drugiej połowie XX w. (SOJA 2002; KASINA i in. 2007). Zmiany przepływów charakterystycznych, średnich i minimalnych rzek w północno-wschodniej Polsce w latach 1951–1990 były przedmiotem badań BYCZKOWSKIEGO i MANDES (1996). Autorzy stwierdzili istotny statystycznie wzrost przepływów, głównie w latach 1971–1990, przy jednoczesnym braku istotnych tendencji do zmian opadów.

Wykryte przez autorów tendencje odpływu rzek w Polsce wskazują na wielokierunkowość zaobserwowanych zmian oraz możliwość przestrzennego ich zróżnicowania. Celem pracy jest zatem określenie kierunku i istotności zmian przepływu rzek w Polsce oraz ich przestrzenna analiza na podstawie możliwie długich, synchronicznych serii obserwacyjnych, co gwarantowałoby porównywalność uzyskanych wyników.

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY PRACY

Identyfikacja przestrzennego zróżnicowania kierunków zmian przepływu rzek w Polsce możliwa jest poprzez analizę wielu długoletnich i synchronicznych ciągów pomiarowych. W pracy wykorzystano ciągi 17 zmiennych hydrologicznych (średnie miesięczne, sezonowe i roczne wartości przepływu) pochodzące ze wszystkich posterunków obserwacyjnych IMGW mających serie obserwacyjne dla wspólnego okresu z lat 1951–2000. Statystycznej analizie poddano 148 serii pomiarowych z profili zlokalizowanych na 91 rzekach o naturalnych i quasi-naturalnych warunkach odpływu. Analizę trendów przeprowadzono dla dziewięciu okresów: dwóch 20-leci (1951–1970 i 1981–2000), dwóch 25-leci (1951–1975 i 1976–2000), dwóch 30-leci (1951–1980 i 1971–2000), dwóch 40-leci (1951–1990 i 1961–2000) oraz lat 1951–2000.

Pośród wielu testów wykorzystywanych do wykrywania zmian w szeregach czasowych zmiennych hydrometeorologicznych (RADZIEJEWSKI, KUNDZEWICZ 2002) w pracy wykorzystano nieparametryczny test Manna-Kendalla. Statystyką testu jest tzw. suma Kendalla S podzielona przez swoje odchylenie standardowe S . Wartość S zadana jest wzorem

$$S = \sum_{i < j} \text{sgn}(a_j - a_i),$$

gdzie a_1, \dots, a_n oznaczają kolejne wyrazy badanego szeregu.

Oszacowanie poziomu istotności jest oparte na hipotezie zerowej obserwacji niezależnych o jednakowym rozkładzie.

Analizie poddano szeregi czasowe średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych wartości przepływu rzecznoego z dziewięciu wieloletnich okresów, a wyniki testu przedstawiono w formie tabelarycznej i graficznie.

WYNIKI TESTU MANNA-KENDALLA

Analiza trendów w seriach średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych przepływów rzek Polski wskazuje, że wyraźnie odmienne kierunki zmian obserwowane są w pierwszej części wiekolecia (w latach 1951–1975) i w części drugiej (w latach 1976–2000) – tabela 1. W seriach rozpoczynających się od roku 1951 zdecydowanie przeważają pozytywne trendy we wszystkich seriach przepływów. Najlichniesze występują w latach 1951–1980, kiedy w ponad 90% serii miesięcznych (od czerwca do grudnia), sezonowych (lata i zimy) oraz rocznych przepływów obserwuje się tendencje rosnące. W seriach tych istotnie statystycznie ($p < 0,05$) trendy stanowią ponad 30%, a w przypadku serii przepływów września, jesieni i roku są obserwowane w ponad 50% serii – tabela 2. Należy podkreślić, że w seriach

Tab e l a 1. Procentowy udział trendów malejących i rosnących w miesięcznych, sezonowych i rocznych ciągach przepływów
 Table 1. Percentage of downward and upward trends in the monthly, seasonal and yearly flow series

| Okres | Trend | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Wiosna | Lato | Jesień | Zima | Rok |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|--------|------|------|
| 1951–1970 | – | 58,4 | 32,1 | 18,9 | 9,5 | 17,2 | 4,4 | 12,8 | 12,2 | 13,2 | 24,0 | 6,1 | 27,7 | 11,5 | 8,8 | 12,5 | 37,8 | 9,1 |
| | + | 41,6 | 67,9 | 81,1 | 90,5 | 82,8 | 95,6 | 87,2 | 87,8 | 86,8 | 76,0 | 93,9 | 72,3 | 88,5 | 91,2 | 87,5 | 62,2 | 90,9 |
| 1951–1975 | – | 24,0 | 15,2 | 36,8 | 42,6 | 20,9 | 2,7 | 5,4 | 10,8 | 14,5 | 8,8 | 7,1 | 10,1 | 43,2 | 5,4 | 3,4 | 8,4 | 6,1 |
| | + | 76,0 | 84,8 | 63,2 | 57,4 | 79,1 | 97,3 | 94,6 | 89,2 | 85,5 | 91,2 | 92,9 | 89,9 | 56,8 | 94,6 | 96,6 | 91,6 | 93,9 |
| 1951–1980 | – | 10,8 | 14,9 | 12,8 | 23,6 | 10,1 | 6,4 | 5,1 | 6,1 | 5,1 | 4,7 | 2,0 | 3,7 | 19,9 | 4,1 | 14,9 | 5,1 | 5,4 |
| | + | 89,2 | 85,1 | 87,2 | 76,4 | 89,9 | 93,6 | 94,9 | 93,9 | 94,9 | 95,3 | 98,0 | 96,3 | 80,1 | 95,9 | 85,1 | 94,9 | 94,6 |
| 1951–1990 | – | 7,1 | 36,8 | 33,4 | 59,8 | 30,1 | 18,2 | 37,2 | 18,2 | 9,1 | 16,9 | 23,6 | 9,5 | 47,3 | 27,0 | 22,6 | 12,8 | 26,4 |
| | + | 92,9 | 63,2 | 66,6 | 40,2 | 69,9 | 81,8 | 62,8 | 81,8 | 90,9 | 83,1 | 76,4 | 90,5 | 52,7 | 73,0 | 77,4 | 87,2 | 73,6 |
| 1951–2000 | – | 14,2 | 28,4 | 34,5 | 36,5 | 47,3 | 37,8 | 42,9 | 51,0 | 18,6 | 24,3 | 22,3 | 20,3 | 43,2 | 44,3 | 6,8 | 22,0 | 32,4 |
| | + | 85,8 | 71,6 | 65,5 | 63,5 | 52,7 | 62,2 | 57,1 | 49,0 | 81,4 | 75,7 | 77,7 | 79,7 | 56,8 | 55,7 | 93,2 | 78,0 | 67,6 |
| 1961–2000 | – | 37,5 | 44,6 | 57,1 | 69,6 | 75,9 | 73,2 | 49,1 | 80,4 | 53,6 | 59,8 | 69,6 | 61,6 | 69,6 | 74,1 | 78,0 | 48,2 | 59,8 |
| | + | 62,5 | 55,4 | 42,9 | 30,4 | 24,1 | 26,8 | 50,9 | 19,6 | 46,4 | 40,2 | 30,4 | 38,4 | 30,4 | 25,9 | 22,0 | 51,8 | 40,2 |
| 1971–2000 | – | 79,7 | 65,5 | 48,0 | 23,0 | 74,3 | 80,4 | 88,2 | 93,6 | 71,6 | 83,4 | 74,0 | 83,4 | 40,2 | 90,9 | 85,1 | 78,0 | 78,4 |
| | + | 20,3 | 34,5 | 52,0 | 77,0 | 25,7 | 19,6 | 11,8 | 6,4 | 28,4 | 16,6 | 26,0 | 16,6 | 59,8 | 9,1 | 14,9 | 22,0 | 21,6 |
| 1976–2000 | – | 83,1 | 35,8 | 78,0 | 49,0 | 87,5 | 69,6 | 55,7 | 92,2 | 84,5 | 75,0 | 63,5 | 82,4 | 68,2 | 73,3 | 31,4 | 68,2 | 71,6 |
| | + | 16,9 | 64,2 | 22,0 | 51,0 | 12,5 | 30,4 | 44,3 | 7,8 | 15,5 | 25,0 | 36,5 | 17,6 | 31,8 | 26,7 | 68,6 | 31,8 | 28,4 |
| 1981–2000 | – | 88,5 | 29,4 | 52,0 | 16,9 | 68,2 | 62,5 | 50,7 | 57,8 | 48,3 | 33,8 | 19,9 | 39,2 | 31,1 | 50,7 | 62,5 | 50,3 | 29,1 |
| | + | 11,5 | 70,6 | 48,0 | 83,1 | 31,8 | 37,5 | 49,3 | 42,2 | 51,7 | 66,2 | 80,1 | 60,8 | 68,9 | 49,3 | 37,5 | 49,7 | 70,9 |

„–” – trend malejący, „+” – trend rosnący

Tabela 2. Procentowy udział istotnych statystycznie trendów ($p < 0,05$) w miesięcznych, sezonowych i rocznych ciągach przepływów
 Table 2. Percentage of statistically significant trends ($p < 0,05$) in the monthly, seasonal and yearly flow series

| Okres | Trend | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Wiosna | Lato | Jesień | Zima | Rok |
|-----------|-------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|--------|------|------|
| 1951–1970 | – | 4,1 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 1,4 | 0,0 | 2,0 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,0 | 0,7 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,7 |
| | + | 2,0 | 1,4 | 8,8 | 16,9 | 26,4 | 18,2 | 6,8 | 17,6 | 14,9 | 2,7 | 13,5 | 6,8 | 22,3 | 20,3 | 6,1 | 4,7 | 25,0 |
| 1951–1975 | – | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | + | 3,4 | 4,7 | 1,4 | 2,7 | 7,4 | 25,0 | 39,2 | 29,7 | 16,2 | 14,2 | 20,3 | 10,1 | 3,4 | 45,9 | 14,9 | 17,6 | 29,1 |
| 1951–1980 | – | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,7 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,4 | 0,7 | 0,7 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,0 |
| | + | 5,4 | 4,1 | 3,4 | 6,1 | 17,6 | 28,4 | 30,4 | 48,6 | 51,4 | 49,3 | 46,6 | 38,5 | 9,5 | 39,9 | 52,0 | 31,1 | 59,5 |
| 1951–1990 | – | 0,0 | 0,7 | 2,0 | 4,1 | 2,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 1,4 | 0,7 | 4,7 | 0,0 | 0,7 | 0,7 | 2,7 |
| | + | 16,2 | 6,1 | 3,4 | 2,7 | 4,7 | 23,0 | 18,2 | 6,1 | 30,4 | 9,5 | 4,7 | 15,5 | 2,7 | 17,6 | 4,7 | 23,0 | 15,5 |
| 1951–2000 | – | 0,7 | 0,7 | 2,0 | 1,4 | 4,7 | 0,7 | 0,7 | 3,4 | 0,7 | 0,7 | 1,4 | 2,0 | 1,4 | 0,7 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| | + | 14,2 | 9,5 | 6,1 | 3,4 | 4,7 | 7,4 | 9,5 | 2,7 | 18,2 | 7,4 | 3,4 | 6,1 | 6,8 | 2,7 | 4,7 | 16,2 | 8,1 |
| 1961–2000 | – | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 3,6 | 30,4 | 17,9 | 3,6 | 7,1 | 1,8 | 3,6 | 12,5 | 5,4 | 8,9 | 5,4 | 5,4 | 3,6 | 12,5 |
| | + | 10,7 | 3,6 | 5,4 | 0,0 | 0,0 | 7,1 | 5,4 | 1,8 | 5,4 | 5,4 | 1,8 | 0,0 | 0,0 | 3,6 | 1,8 | 5,4 | 3,6 |
| 1971–2000 | – | 3,4 | 2,7 | 0,0 | 0,7 | 11,5 | 9,5 | 6,8 | 17,6 | 4,1 | 8,1 | 6,1 | 4,1 | 1,4 | 9,5 | 6,8 | 10,1 | 8,1 |
| | + | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 8,1 | 1,4 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,0 | 4,1 | 0,7 | 0,7 | 0,0 | 0,7 |
| 1976–2000 | – | 2,0 | 0,0 | 1,4 | 0,7 | 10,8 | 2,7 | 0,0 | 12,2 | 4,7 | 5,4 | 0,7 | 1,4 | 1,4 | 5,4 | 4,1 | 2,7 | 6,1 |
| | + | 0,0 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 |
| 1981–2000 | – | 1,4 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 1,4 | 0,7 | 0,7 | 2,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,7 | 1,4 | 0,0 | 0,7 |
| | + | 0,0 | 1,4 | 0,0 | 17,6 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 5,4 | 2,7 | 0,0 | 2,7 | 0,0 | 6,1 | 0,0 | 6,1 |

„–” – trend malejący, „+” – trend rosnący

przepływów miesięcznych od stycznia do kwietnia istotne dodatnie trendy odnotowywane są w nielicznych przypadkach, do 6% analizowanych serii.

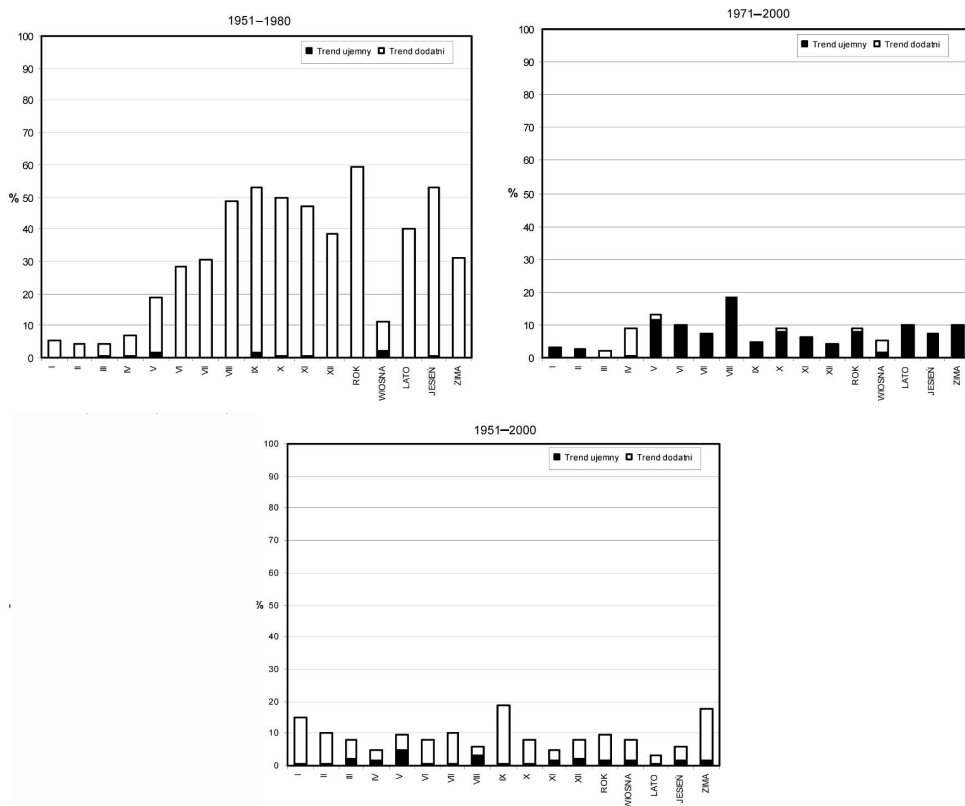
Kierunek trendu przepływów zmienia się w seriach rozpoczynających się po roku 1961, gdy w większości analizowanych serii zaczynają przeważać ujemne trendy. Najczęściej, bo w ponad 70% serii, trendy malejące obserwuje się w wieloleciu 1971–2000. Wyjątek stanowią serie przepływów wiosennych marca i kwietnia, kiedy nieznacznie częściej występują trendy rosnące. Należy jednak podkreślić, że dominujące ujemne trendy rzadko wykazują istotność statystyczną. Istotne statystycznie trendy wykazują głównie serie przepływów letnich i zimowych (do 10%), a najczęściej serie przepływów sierpnia (17,6%) – tabela 2, rycina 1. Niewiele istotnych statystycznie trendów wykazują również serie przepływów z wielolecia 1981–2000. Jedynie w przypadku serii kwietniowych przepływów 17,6% z nich wykazuje dodatnie trendy, istotne statystycznie.

Podczas analizy całego 50-letniego okresu uwagę zwraca wyraźna przewaga pozytywnych tendencji zmian przepływów, szczególnie w serii przepływów jesiennych, z których ponad 90% wykazuje trend rosnący. Niezbyt liczne są jednak przypadki trendów istotnych statystycznie. Najliczniejsze istotne statystycznie rosnące trendy obserwowane są w serii przepływów wrześniowych (18,2%), zimowych (16,2%) i styczniowych (14,2%) – tabela 2, rycina 1.

PRZESTRZENNE ZRÓŻNICOWANIE WYNIKÓW TESTU

Wyniki testu tendencji zmian analizowanych zmiennych zaprezentowano w postaci map. Przedstawiono na nich lokalizację profili rzecznych, z których pochodziły analizowane serie danych oraz wyniki testu – trendy o określonym poziomie istotności. Wyniki testów serii średnich przepływów rocznych z wielolecia 1951–2000 wskazują na wyraźną przewagę trendów dodatnich (ponad 67% badanych serii). Jednak tylko 8% z nich to trendy istotne statystycznie. Interesujący jest przestrzenny rozkład wyników testu. Średnie roczne przepływy na rzekach położonych we wschodnich częściach dorzecza Wisły i Odry oraz rzekach Przymorza zwykle rosną, natomiast na rzekach zachodnich części dorzecza Wisły i Odry zwykle maleją – rycina 2. Wyjątek stanowią górne odcinki sudeckich dopływów Odry, wykazujące rosnące trendy rocznych przepływów. Trendy rosnące, istotne statystycznie ($p < 0,05$), charakterystyczne są jednak jedynie w przypadku większości rzek Pojezierza Pomorskiego oraz lokalnie rzek dorzecza Narwi (Biebrza, Supraśl) i niektórych rzek karpackich (Skawa, Biała, Wisłoka).

Przestrzenny rozkład trendów odpływów sezonowych generalnie nie odbiega od zaobserwowanego w przypadku serii średnich przepływów rocznych – rycina 3. Wyraźnie więcej trendów rosnących dotyczy przepływów sezonu jesiennego (93% analizowanych serii) i zimowego (78%), natomiast w przypadku serii przepływów sezonu wiosennego i letniego rosnące trendy wykazuje po około 55% badanych serii. W seriach przepływów zimowych występuje jednak dwukrotnie więcej trendów istotnych statystycznie niż w seriach przepływów rocznych i zazwyczaj dotyczą rzek położonych w tych samych regionach. Z analizy przestrzennego rozkładu trendów w seriach średnich przepływów miesięcznych uwagę zwraca dominacja istotnych statystycznie dodatnich trendów w przepływach rzek

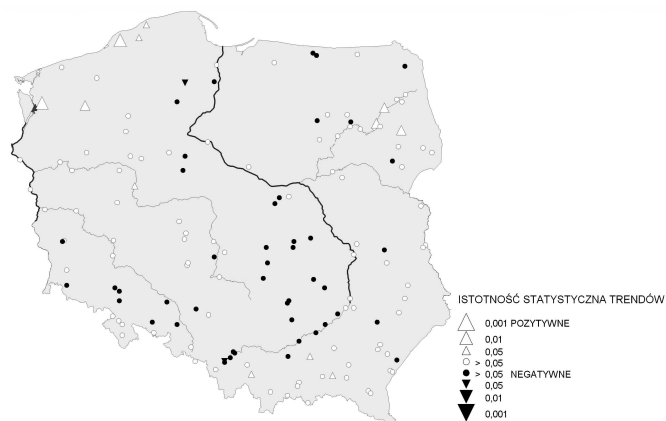


Ryc. 1. Procentowy udział trendów istotnych statystycznie w analizowanych seriach przepływów
 Fig. 1. Percentage of statistically significant trends in the flow series under analysis

dorzecza Narwi w styczniu, lutym i grudniu. Najwięcej istotnych statystycznie trendów w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec i sierpień) wykazują serie przepływów rzek Pojezierza Pomorskiego. Jednak najczęściej rosnących, istotnych statystycznie trendów występuję w serii przepływów wrześniowych (ponad 18% analizowanych serii). Dotyczą one zasadniczo rzek południowej i wschodniej części dorzecza Wisły (po Narew) oraz rzek Pojezierza Pomorskiego (Drawa, Ina, Wieprza, Łupawa), a także Warty poniżej Poznania.

Z analizy serii przepływów z okresu 1951–1980 wynika, że w przypadku wszystkich badanych zmiennych, zarówno rocznych, sezonowych, jak i miesięcznych, obserwuje się zdecydowaną przewagę trendów rosnących i to często istotnych statystycznie. Spośród trendów w seriach przepływów rocznych prawie 60% wykazuje istotność statystyczną i dotyczy to rzek położonych właściwie we wszystkich regionach kraju, z wyjątkiem rzek na Pojezierzu Mazurskim – rycina 4.

Bardzo duży wpływ na zmiany przepływów rocznych miał w tym okresie głównie wzrost przepływów w sezonie jesiennym, który istotnie statystycznie zmienił się w przypad-

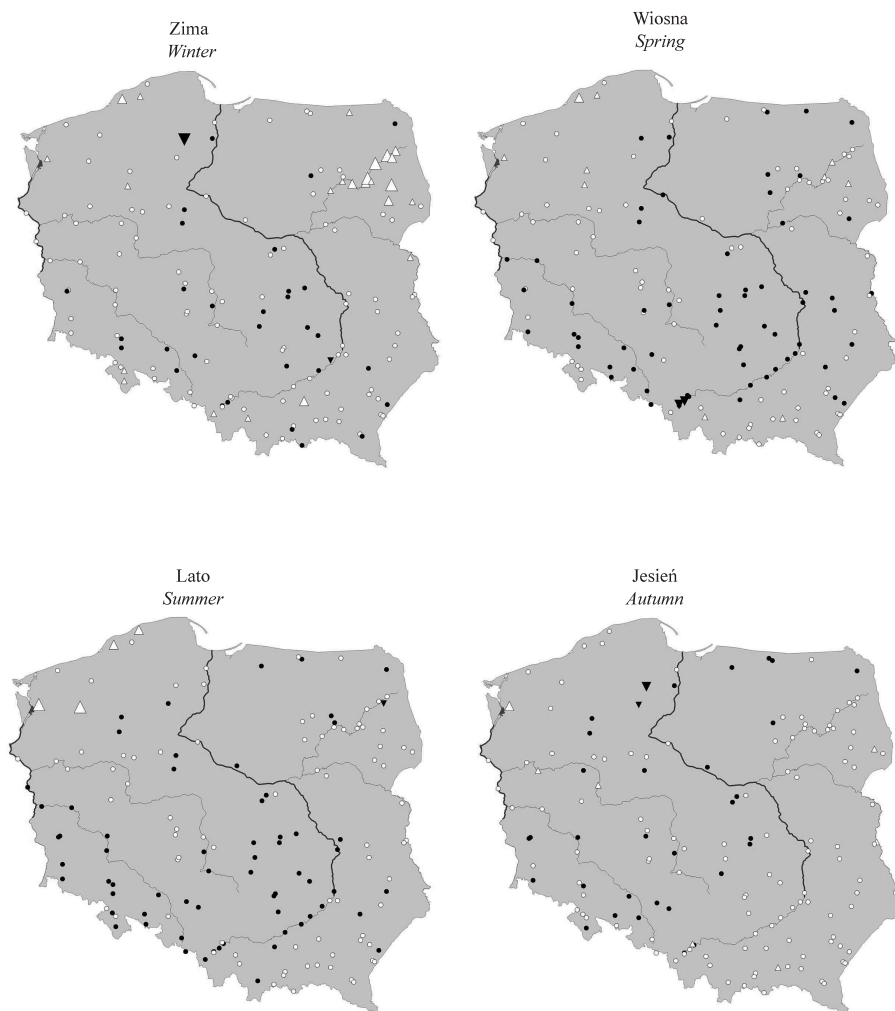


Ryc. 2. Trendy w średnich rocznych przepływach w latach 1951–2000

Fig. 2. Trends in mean yearly discharges over the years 1951–2000

ku ponad połowy analizowanych serii przepływów, głównie w centralnej i południowej Polsce. Najmniej istotne zmiany obserwowane były na większości rzek przybrzeżnych – rycina 5. Podobny kierunek zmian i przestrzenna zmienność odnotowana była w serii przepływów w sezonie letnim i zimowym. Jednak istotnych statystycznie trendów w tych seriach było mniej, choć i tak obserwowane były w około 40% analizowanych serii przepływów letnich i ponad 30% serii przepływów zimowych. Istotne statystycznie rosnące trendy przepływów wiosennych odnotowuje się w niewielkiej liczbie serii (do 10%) na niektórych rzekach w dorzeczu Warty (Warta, Grabia, Ołobok, Wełna, Gąsawka, Noteć), Narwi (Narewka, Supraśl) i górnego Wieprza.

W latach 1951–1980 większość serii przepływów miesięcznych wykazuje rosnące trendy, często istotne statystycznie. Uwagę zwraca niewielka liczba trendów istotnych statystycznie od stycznia do kwietnia. Obserwuje się je na pojedynczych rzekach rozproszonych prawie we wszystkich regionach kraju. Liczba istotnych statystycznie serii przepływów wyraźnie rośnie od maja; w maju głównie w przypadku serii przepływów rzek we wschodniej części kraju (dorzecze Narwi i Wieprza) oraz w dorzeczu Warty, a w czerwcu także w dorzeczu górnej Odry. W lipcu wzrasta jeszcze liczba istotnych statystycznie serii przepływów na rzekach we wschodniej Polsce, natomiast w dorzeczu Odry oraz górnej Warty nie obserwuje się ich. Istotne statystycznie serie przepływów w sierpniu dotyczą rzek większej części kraju, z wyjątkiem rzek pasa pojeziernego na wschód od Drawy oraz górnych odcinków karpacczych dopływów Wisły. Podobny jest przestrzenny rozkład istotnych trendów przepływów w kolejnych miesiącach. Wśród serii przepływów we wrześniu spotyka się najwięcej, ponad 51%, trendów istotnych statystycznie, także na wielu rzekach karpacczych. Najbardziej istotne trendy przepływów w październiku odnotowuje się na rzekach w równoleżnikowym pasie centralnej Polski, a ich brak na większości rzek karpacczych i rzekach pojeziernych. Podobny rozkład przestrzenny dotyczy trendów przepływów w listopadzie i grudniu, przy czym ich udział stopniowo maleje do 38% w przypadku serii odpływów grudniowych.



Ryc. 3. Trendy w średnich sezonowych przepływach w latach 1951–2000

Objaśnienia jak na ryc. 2

Fig. 3. Trends in mean seasonal discharges over the years 1951–2000

Explanations as in Fig. 2

Serie przepływów w latach 1971–2000 wskazują na odmienny kierunek zmian. Prawie 80% analizowanych serii średnich rocznych przepływów wykazuje tendencje malejące, jednak zaledwie 8% z nich stanowią trendy istotne statystycznie. Tendencje takie obserwuje się na pojedynczych rzekach systemów odwodnieniowych Pilicy, Bzury, a także górnej Warty, Odry i Narwi. Odwrotne, tj. rosnące, jednak nieistotne statystycznie, trendy reprezentują przepływy rzek karpackich od Dunajca po San, niektórych rzek w środkowym dorzeczu Warty (Flinta, Mogilnica, Sama) oraz w zachodniej części Pojezierza Pomorskiego (Gwda, Drawa, Rega, Ina) – rycina 6.



Ryc. 4. Trendy w średnich rocznych przepływach w latach 1951–1980

Objaśnienia jak na ryc. 2

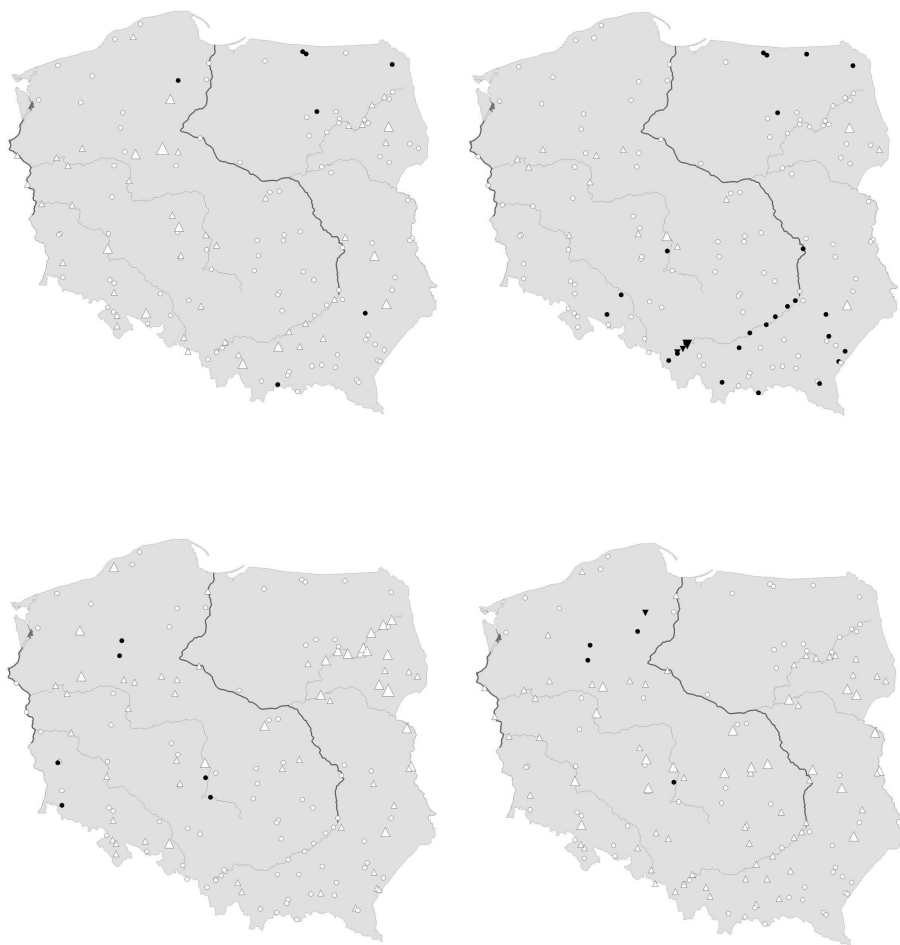
Fig. 4. Trends in mean seasonal discharges over the years 1951–1980

Explanations as in Fig. 2

W porównaniu z seriami odpływów rocznych zmiany w seriach przepływów sezonu zimowego dotyczą podobnej liczby analizowanych serii. Zaznacza się jednak niewielki wzrost trendów istotnych statystycznie (do ok. 10%), a w przestrzennym rozkładzie pojawiają się dodatnie, jednak nieistotne statystycznie trendy przepływów na rzekach Pojezierza Mazurskiego i w dorzeczu Biebrzy oraz zmniejsza się liczba trendów rosnących na rzekach karpackich – rycina 7. Analizując miesięczne serie przepływów, w styczniu zwraca uwagę wzrost liczby trendów rosnących na rzekach pojeziernych, zwłaszcza Pojezierza Mazurskiego, a w lutym wyraźna dominacja dodatnich trendów nie tylko na rzekach pojeziernych, ale także na rzekach karpackich i sudeckich. Wśród serii przepływów sezonowych tylko w serii przepływów sezonu wiosennego obserwuje się przewagę trendów rosnących (prawie w 60% serii). W seriach przepływów marca i kwietnia trendy rosnące stanowią odpowiednio 52% i 77%. Wzrost przepływów w lutym i marcu na rzekach Pojezierza Pomorskiego oraz w lutym i kwietniu na rzekach karpackich wydaje się główną przyczyną rosnącego trendu przepływów średnich rocznych w tych regionach. Najwięcej malejących trendów występuje w seriach sezonu letniego (91%) i jesiennego (85%). Przestrzenny rozkład trendów istotnych statystycznie, odpowiednio 9,5% i 6,8%, wyraźnie nawiązuje do obserwowanego w przypadku serii rocznych. Może to wskazywać na duże znaczenie zmniejszenia przepływów latem i jesienią na negatywny kierunek zmian przepływów rocznych, głównie rzek w systemie Narwi, Pilicy i Bzury.

PODSUMOWANIE

W pracy zbadano wieloletnie tendencje w szeregach miesięcznych, sezonowych i rocznych przepływów rzek w Polsce w drugiej połowie XX w. Do wykrycia zmian w szeregach czasowych wykorzystano nieparametryczny test Manna-Kendalla. Analizie poddano serie przepływów pochodzących z 148 profili rzecznych zlokalizowanych na 91 polskich rze-



Ryc. 5. Trendy w średnich sezonowych przepływach w latach 1951–1980

Objaśnienia jak na ryc. 2

Fig. 5. Trends in mean seasonal discharges over the years 1951–1980

Explanations as in Fig. 2

kach. Analizę trendów przeprowadzono dla dziewięciu okresów: dwóch 20-leci (1951–1970 i 1981–2000), dwóch 25-leci (1951–1975 i 1976–2000), dwóch 30-leci (1951–1980 i 1971–2000), dwóch 40-leci (1951–1990 i 1961–2000) oraz 1951–2000.

W latach 1951–2000 w seriach średnich miesięcznych, sezonowych i rocznych przepływów rzek Polski obserwuje się wyraźnie odmienne kierunki zmian w pierwszej i drugiej części tego wielolecia. We wszystkich seriach przepływów rozpoczynających się od roku 1951 zdecydowanie przeważają trendy rosnące, a najliczniejsze są w latach



Ryc. 6. Trendy w średnich rocznych przepływach w latach 1971–2000

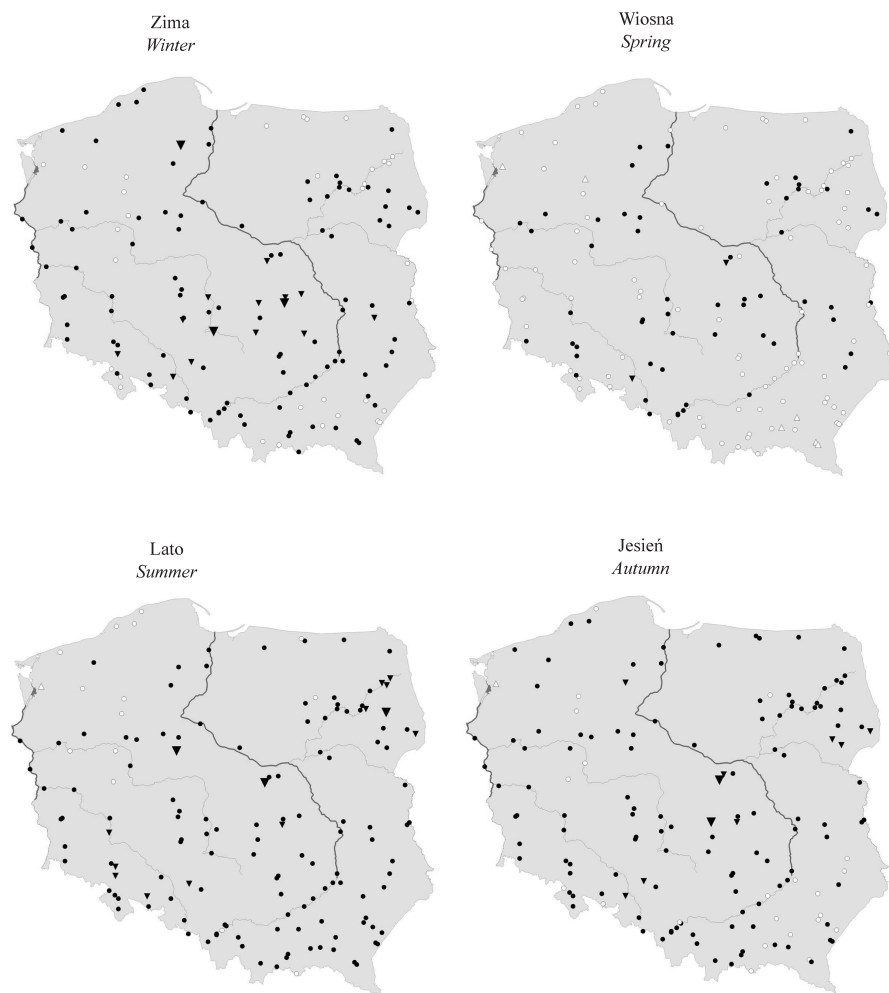
Objaśnienia jak na ryc. 2

Fig. 6. Trends in mean seasonal discharges over the years 1971–2000

Explanations as in Fig. 2

1951–1980. Trendy istotne statystycznie obserwowane są wówczas w ponad 30% analizowanych serii. Prawie 60% serii przepływów średnich rocznych wykazuje wówczas istotny statystycznie wzrost. Obserwowany jest on na większości rzek kraju, z wyjątkiem Pojezierza Mazurskiego. Nieistotny statystycznie wzrost przepływów odnotowuje się od stycznia do kwietnia. W pozostałych miesiącach przepływy wyraźnie rosną, przy czym wzrost ten jest czasowo i przestrzennie zróżnicowany. Od maja do lipca rosną przepływy głównie na rzekach we wschodniej części kraju, w dorzeczu Narwi i Wieprza, w maju w dorzeczu Warty, a w czerwcu także w dorzeczu górnej Odry. Od sierpnia do października istotny wzrost przepływów obserwuje się na większości rzek w kraju, z wyjątkiem rzek pojeziernych i górnych odcinków karpaccich dopływów Wisły. Podobny rozkład występuje w pozostałych miesiącach, przy czym udział istotnych statystycznie trendów w grudniu maleje do 38% analizowanych serii. Po roku 1961 kierunek zmian przepływów zmienia się i zaczynają dominować ujemne trendy. Najwięcej malejących trendów, w ponad 70% serii, jednak zazwyczaj nieistotnych statystycznie, obserwuje się w wieloleciu 1971–2000. Wyjątek stanowią serie przepływów w marcu i kwietniu, kiedy częściej obserwowane są trendy rosnące. Wzrost przepływów w okresie zimowo-wiosennym obserwuje się wówczas na rzekach Pojezierza Pomorskiego (II i III) i rzekach karpaccich (II i IV). W okresie letnio-jesiennym przepływy większości rzek w tym wieloleciu malały.

Średnie przepływy roczne na większości analizowanych rzek w wieloleciu 1951–2000 rosły, jednak zazwyczaj statystycznie nieistotnie. Wzrost przepływu obserwowany jest przeważnie na rzekach położonych we wschodnich częściach dorzecza Wisły i Odry oraz rzekach Przymorza, a jego spadek na rzekach w zachodnich częściach tych dorzeczy, nie licząc górnych odcinków sudeckich dopływów Odry. Trendy rosnące, istotne statystycznie, charakterystyczne są jednak tylko w przypadku rzek Pojezierza Pomorskiego oraz lokalnie rzek dorzecza Narwi i niektórych rzek karpaccich. Istotny statystycznie rosnący trend przepływów w sezonie zimowym na rzekach północno-wschodniej części kraju, a także lo-



Ryc. 7. Trendy w średnich sezonowych przepływach w latach 1971–2000

Objaśnienia jak na ryc. 2

Fig. 7. Trends in mean seasonal discharges over the years 1971–2000

Explanations as in Fig. 2

kalnie na rzekach sudeckich i karpackich wskazuje, że na wzrost przepływów tych rzek mogą wpływać czynniki cyrkulacyjne. Potwierdza to przebieg izokorelat przepływów rzek tych regionów w sezonie zimowym z zimowym indeksem NAO oraz różnice w odpływach między pozytywną i negatywną fazą tego makroskalowego typu cyrkulacji (WRZESIŃSKI 2008). Analizę przestrzennego zróżnicowanie wyników tendencji zmian przepływów utrudniają również warunki fizycznogeograficzne zlewni, a także działalność człowieka. Elementy te w dużej mierze decydują o kształtowaniu warunków odpływu i specyfice jego

reżimu. Zaobserwowana w latach 70. XX w. skokowa zmiana tendencji przepływów wymaga dalszych badań, które potwierdziłyby statystyczną istotność zmiany tendencji przepływów oraz określiły termin przejścia z trendów rosnących w malejące.

LITERATURA

- BARTNIK A., JOKIEL P., 1997: *Zmiany odpływu na obszarze Polski w latach 1971–1990 w świetle analiz jednorodności szeregów przepływu rzek*. Wiad. IMiGW, XX(XLI), 4, 67–85.
- BOGDAŃSKA B., PODOGROCKI J., 2000: *Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961–1995*. Mat. Bad. IMiGW, Ser. Meteorologia, 30, 44 ss.
- BYCZKOWSKI A., MANDES B., 1996: *Badanie zmienności chronologicznych ciągów średnich i minimalnych przepływów rzek w północno-wschodniej Polsce*. Wiad. IMiGW, XIX(XL), 1, 133–146.
- FAL B., 1993: *Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu*. Wiad. IMiGW, XVI(XXXVII), 3, 3–19.
- FAL B., BOGDANOWICZ E., 2002: *Zasoby wód powierzchniowych Polski*. Wiad. IMiGW, XXV(XLVI), 2, 3–38.
- FORTUNIAK K., KOZUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E., 2001: *Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku*. Przegl. Geofiz., 46, 4, 283–303.
- GUTRY-KORYCKA M., BORYCZKA J., 1990: *Długookresowe zmiany elementów bilansu wodnego w Polsce i w zlewisku Bałtyku*. Przegl. Geofiz., XXXV, 3–4, 175–188.
- JOKIEL P., BARTNIK A., 2001: *Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce środkowej w wieloletniu 1951–1998*. Wiad. IMiGW, XXIV(XLV), 2, 3–16.
- JOKIEL P., KOZUCHOWSKI K., 1989: *Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu*. Dokum. Geogr. IGPZ PAN, 6, 94 ss.
- KASINA M., POCIASK-KARTECZKA J., NIECKARZ Z., 2007: *Tendencje występowania wysokich przepływów w dorzeczu Dunajca w II połowie XX wieku*. Fol. Geograph., Ser. Geogr.-Phys., XXXV–XXXVI, 5–36.
- KOZUCHOWSKI K., 2004a: *Skala i tendencje współczesnych zmian temperatury powietrza w Polsce*. [W:] K. Kozuchowski (red.), *Skala uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*. Wyd. Biblioteka, Łódź, 25–46.
- KOZUCHOWSKI K., 2004b: *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w XX i XXI wieku*. [W:] K. Kozuchowski (red.), *Skala uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. Biblioteka, Łódź, 47–58.
- KOZUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2001: *Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*. Przegl. Geofiz., 46, 1–2, 81–90.
- KOZUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E., 2002: *Cyrkulacja atmosferyczna i jej wpływ na zmienność temperatury powietrza w Polsce*. Przegl. Geogr., 74, 4, 591–604.
- PODSTAWCZYŃSKA A., 2004: *Klimat solarny Łodzi*. Rozp. doktorska, Wyd. Nauk Geogr. UŁ, Łódź, 283 ss.
- POKOJSKA P., 1999: *Długookresowe zmiany elementów hydrometeorologicznych w zlewisku Morza Bałtyckiego*. Wiad. IMiGW, XXII(XLIII), 2, 59–69.
- RADZIEJEWSKI M., KUNDZEWICZ Z.W., 2002: *Hydrospect – program do wykrywania zmian w danych hydrologicznych*. [W:] Z.W. Kundzewicz, M. Radziejewski (red.), *Detekcja zmian klimatu i procesów hydrologicznych*, Wyd. Sorus, Poznań.
- SOJA R., 2002: *Hydrologiczne aspekty antropopresji w Polskich Karpatach*. Pr. Geogr. IGPZ PAN, 186, 130 ss.
- STACHY J., 1968: *Zmniejszanie się odpływu rzek polskich w bieżącym stuleciu*. Pr. Państw. Inst. Hydrol.-Meteor., 95, 3–13.
- STACHY J., 1969: *Wieloletnia prognoza odpływu rzek polskich*. Wiad. Służby Hydrol.-Meteo., 5, 1.
- STACHY J., 1970: *Wieloletnia zmienność odpływu rzek polskich*. Pr. Państw. Inst. Hydrol.-Meteo., 97.
- STACHY J., 1984a: *Odpływ rzek polskich w latach 1971–1980 na tle danych wieloletnich*. Gospodarka Wodna, 5, 138–141.
- STACHY J., 1984b: *Odpływ rzek polskich w latach 1971–1980 na tle danych wieloletnich*. Gospodarka Wodna, 6, 163–167.
- STACHY J., FAL B., DOBRZYŃSKA I., HOŁDAKOWSKA J., 1996: *Wezbrania rzek polskich w latach 1951–1990*. Mat. Badawcze, Ser.: Hydrol. i Oceanol., 20, 80 ss.

WRZESIŃSKI D., 2008: *Impact of the North Atlantic Oscillation on river runoff in Poland*. IWRA 13th World Water Congress Montpellier, France, 1–4 September (http://www2008.msem.univ-montp2.fr/resource/authors/abs217_article.pdf).

ŻMUDZKA E., 2002: *O zmienności opadów atmosferycznych na obszarze Polski nizinnej w drugiej połowie XX wieku*. Wiad. IMiGW, XXV(XLVI), 4, 23–38.

Recenzent: prof. dr hab. Adam Choiński

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej
Instytut Geografii Fizycznej
i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

TENDENCIES OF CHANGE IN THE FLOW OF RIVERS IN POLAND IN THE SECOND HALF OF THE 20TH CENTURY

SUMMARY

A study was made of multi-year tendencies in monthly, seasonal and yearly series of streamflow in Poland in the second half of the 20th century. To establish changes in the time series, use was made of the non-parametric Mann-Kendall test. The analysed flow series came from 148 profiles located on 91 Polish rivers and covered 9 time intervals: two 20-year periods (1951–1970 and 1981–2000), two 25-year ones (1951–1975 and 1976–2000), two 30-year ones (1951–1980 and 1971–2000), two 40-year periods (1951–1990 and 1961–2000), and the years 1951–2000.

Over the years 1951–2000, the directions of change in the series of mean monthly, seasonal and yearly streamflow in Poland were clearly different in the first and second part of this period. In all the flow series starting in 1951, upward trends decidedly prevail, being the most frequent in the years 1951–1980. Statistically significant trends can then be observed in more than 30% of the series under analysis. Nearly 60% of the mean yearly flow series display then statistically significant growth, recorded on most of the rivers in the country except in the Mazurian Lakeland. A statistically insignificant increase in streamflow can be noted from January to April. In the remaining months the discharge figures grow markedly, although the growth varies in space and time. From May to July the discharges rise mostly on rivers in the eastern part of the country, in the Narew and Wieprz catchments, in May in the Warta catchment, and in June also in the upper Oder catchment. From August to October a significant increase in streamflow can be observed on most rivers in the country except lakeland rivers and upper reaches of the Carpathian tributaries of the Vistula. A similar distribution occurs in the remaining months, with the proportion of statistically significant trends in December dropping to 38% of the series under analysis. After 1961 the direction of variations in streamflow changes and negative trends start to predominate. The largest number of downward trends, in more than 70% of the series, although usually statistically insignificant, can be observed in the period 1971–2000. An exception is the March and April flow series when upward trends predominate. An increase in streamflow in the winter-spring season can then be observed on the rivers of the Pomeranian Lakeland (February and March) and the Carpathians (February and April). In the summer-autumn season the discharges of most rivers in this multi-year period tended to decline.

Mean annual discharges on most of the studied rivers tended to grow between 1951 and 2000, but usually in a statistically insignificant way. An increase can generally be noted on rivers flowing in the eastern parts of the Vistula and Oder catchments and on coastal rivers, while a decrease, on rivers in the western parts of those catchment, not counting the upper reaches of the Sudeten tributaries of the Oder. Still, upward trends, statistically significant, are only characteristic of rivers of the Pomeranian Lakeland and locally those in the Narew catchment and some Carpathian streams. A statistically significant upward trend in the winter season on rivers in the north-east of the country, and also locally on the Sudeten and Carpathian rivers, shows that circulation factors may be responsible for the higher discharges of those rivers. This is corroborated by a diagram of isocorrelates of streamflow in those regions in the winter season with the winter NAO index, as well as differences in flows between a positive and a negative stage of this macro-scale type of circulation (WRZESIŃSKI 2008). An analysis of

the spatial variability of the tendencies of change in streamflow is also made difficult by the physical-geographic conditions of the catchments and by human activity. These are elements of major importance in the shaping of flow conditions and specific features of stream regimes. The reversal observed in flow tendencies in the 1970s requires further studies to confirm the statistical significance of this change and to determine when upward trends turned into downward ones.