

Paweł Jokiel

PODSTAWOWE CECHY REŻIMU WYDAJNOŚCI WYBRANYCH ŹRÓDEŁ KARPACKICH

BASIC FEATURES OF THE SELECTED CARPATIAN SPRINGS YIELD REGIME

Prezentowany artykuł zawiera analizę wieloletnich i sezonowych zmian wydajności 15 źródeł odwadniających struktury wodonośne fliszu karpackiego. Materiał hydrometryczny pochodzi z okresu 1979–1991. Stosując metodę składowych głównych i analizę czynnikową zdefiniowano także trzy charakterystyki waloryzujące skalę zmienności sezonowej, poziom inercji wydatku oraz charakter zmian wieloletnich. Zmienne te posłużyły do określenia względnego podobieństwa reżimów wydajności poszczególnych źródeł, a po zastosowaniu analizy skupień do ich pogrupowania w 5 klas typologicznych.

WSTĘP

Zagadnienia skali, przestrzennego porządku oraz przyczyn obserwowanych współcześnie zmian różnych zjawisk składających się na obieg wody w środowisku należą do najbardziej frapujących, a jednocześnie do najslabiej poznanych i rozumianych problemów w naukach geograficznych. Podstawowym stymulatorem rozwoju tego kierunku badań jest niewątpliwie coraz większe zapotrzebowanie na poznanie natury i genezy obserwowanej zmienności w celu zapewnienia podstaw do przewidywania zmian w przyszłości. Choć budowanie prognoz wyłącznie na podstawie zasady aktualizmu musi budzić wątpliwości, to przecież „sondowanie” przyszłości długo jeszcze opierać się będzie na analizie materiałów historycznych. Można nawet powiedzieć, że większość procesów zachodzących w środowisku geograficznym nosi w sobie zarówno piętno swego stanu poprzedniego, jak i załączek stadium następnego. Charakterystyczna jest więc dla nich swoista „pamięć”, której podstawowym przejawem jest między innymi zjawisko inercji występujące w szeregach czasowych opisujących kolejne stany.

Problemom wieloletnich zmian w obiegu wody w poszczególnych punktach cyklu hydrologicznego i w różnej skali czasowej i przestrzennej poświęcono w Polsce sporo uwagi, a literatura na ten temat jest bardzo bogata. Identyfikacja różnych trendów, fluktuacji, nieciągłości czy też zjawisk ekstremalnych i rytmów w seriach charakterystyk związanych z obiegiem wody była też podstawą przy konstruowaniu różnorodnych modeli prognostycznych zarówno deterministycznych, jak i stochastycznych. Niektóre ze sformułowanych przy tej okazji hipotez zostały już zweryfikowane, inne nadal czekają na dane z przyszłości, które pozwolą je potwierdzić lub obalić. Bogatą literaturę na ten temat zawierają między innymi opracowania: J. Boryczki (1984), P. Jokiel i K. Kozuchowskiego (1989), K. Kozuchowskiego (red.) (1990).

Na tym tle stosunkowo niewiele uwagi poświęcono dotychczas analizom wieloletnich i sezonowych zmian wydajności źródeł w Polsce (Czarnecka 1975, Nowakowski 1976, Michalczyk 1993, Jokiel 1994). Złożyło się na to wiele przyczyn. Polska należy do państw charakteryzujących się ubóstwem źródeł, a w szczególności źródeł o dużych wydajnościach. Zagadnienia krenologiczne, poza nielicznymi wyjątkami, traktowano więc marginalnie. W efekcie obserwacje źródeł i pomiary ich wydajności miały i mają nadal charakter okazjonalny. Serie pomiarowe są przeważnie krótkie, często niejednorodne, a wyniki analiz budzą wiele wątpliwości wynikających z małej wiarygodności danych pomiarowych.

Sieć stałych punktów pomiaru wydajności źródeł jest w Polsce rzadka i niereprezentatywna – prawie wszystkie mierzone wypływy znajdują się w południowej Polsce. W ostatnich 40 latach tylko 10 źródeł obserwowano w sposób względnie ciągły i przez okres dłuższy niż 20 lat. Analizę przebiegu wydatku tych źródeł, w okresie obserwacji, przedstawiłem w cytowanym już opracowaniu z 1994 r. Kolejne kilkanaście serii pomiarowych ma długość niewiele przekraczającą 10 lat.

Obok tego rodzaju danych, istnieje stosunkowo dużo, różnej długości, różnie umiejscowionych w czasie i różnej jakości serii pomiarowych, wykonanych przy okazji opracowań bilansów wodnych, prac monograficznych czy też związanych z inwentaryzacją obiektów i zjawisk hydrograficznych na różnych obszarach. Serie te obejmują zwykle okresy kilkuletnie i składają się z kilkunastu do kilkadziesiątu pomiarów, najczęściej nieterminowych lub też z pojedynczych obserwacji losowo rozłożonych w czasie. Do analizy sezonowych i krótkookresowych zmian reżimu wydatku, jak też do rozpoznania podstawowych parametrów hydrogeologicznych zbiorników drenowanych przez poszczególne źródła, materiał ten jest najczęściej wystarczający. Trudno

jednak na jego podstawie zbadać obserwowane tendencje czy też charakter zmienności wieloletniej. Również zmienność sezonowa, z uwagi na słabo nierzadko zarysowany rytm roczny, może być oceniana wyłącznie w sposób przybliżony (Jokiel 1994). Ponadto, w wynikach tego rodzaju badań, trudno dostrzec kierunki i siłę zmian wywołanych przez czynniki antropogeniczne, a jeśli nawet to się uda, to ocenić je można jedynie w sposób jakościowy.

KILKA UWAG O OBSERWACJACH KRENOLOGICZNYCH W KARPATACH FLISZOWYCH

Ogół warunków fizyczno-geograficznych, w tym silne rozczłonkowanie terenu, duże nachylenia stoków, a także niska przepuszczalność pokryw zwietrzelinowych, przy stosunkowo wysokich opadach, powodują, że na obszarach fliszowych spływ wód opadowych i roztopowych do rzek i strumieni odbywa się szybko i z dużym natężeniem. Zdecydowana większość odpływu rzecznego formuje się przy tym w obrębie strefy aeracji – spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy. W konsekwencji, zasilanie skał fliszowych, abstrahując całkowicie od ich warunków geofiltracyjnych i geostukturalnych, jest niewielkie i odbywa się niejako poprzez „filtr zwietrzelinowy”. Dalej, przez sieć przypowierzchniowych szczelin wietrzeniowych i odprężeniowych, rzadziej tektonicznych, wody wsiąkowe wędrują do wnętrza górotworu, by zgodnie z kierunkiem ich przebiegu przemieszczać się do stref czy też miejsc drenażu.

Skałą wodonośną w polskich Karpatach fliszowych są zwykle piaskowce o różnym uziarnieniu i stopniu uszczelinienia, niekiedy spękanе margle lub nawet łupki, a powszechnie utwory zwietrzelinowe kompleksu fliszowego. Wodonośność piaskowców fliszowych wiąże się prawie wyłącznie z ich szczelinowatością. Wody porowe występują w nich rzadko, najczęściej w piaskowcach gruboziarnistych warstw magurskich i istebniańskich. Większe zasoby wód porowych występują natomiast powszechnie i to na całym obszarze Karpat w piaszczysto-żwirowych osadach rzecznych, wypełniających współczesne i kopalne doliny oraz rynny preglacjalne, a także lokalnie w stożkach napływowych u wylotów tych dolin. Na niektórych obszarach dość duże zasoby wodne stwierdzono też w mięjszych pokrywach zwietrzelinowych, okrywających dolne partie stoków.

Warunki krążenia wód podziemnych we fliszu karpackim pogarszają się z głębokością, jak też w miarę oddalania się od stref spękań tektonicznych

i dolin rzecznych. Charakterystyczna dla tego obszaru tektonika fałdowa nie sprzyja również szerokoprzestrzennej migracji wód podziemnych i utrudnia powstawanie rozległych i zasobnych poziomów czy struktur wodonośnych. Specyficzną cechą hydrogeologicznego masywu Karpat jest więc występowanie wielu niewielkich i pooddzielanych od siebie, zbiorników wód podziemnych, głównie o charakterze szczelinowo-warstwowym. Wiąże się z tym, wyraźnie widoczne, duże zróżnicowanie przestrzenne wodonośności i wodozasobności kompleksu fliszowego i to zarówno w skali makrojednostek geologiczno-strukturalnych, jak też w odniesieniu do jednostek niższych rzędów, a nawet poszczególnych fałdów. Obok obszarów prawie całkowicie pozbawionych trwałych poziomów wód skalnych i drenujących je źródeł spotykamy też strefy, w których zasoby wód podziemnych są znaczne, a liczne źródła i inne wypływy charakteryzują się dość dużą i względnie stałą wydajnością.

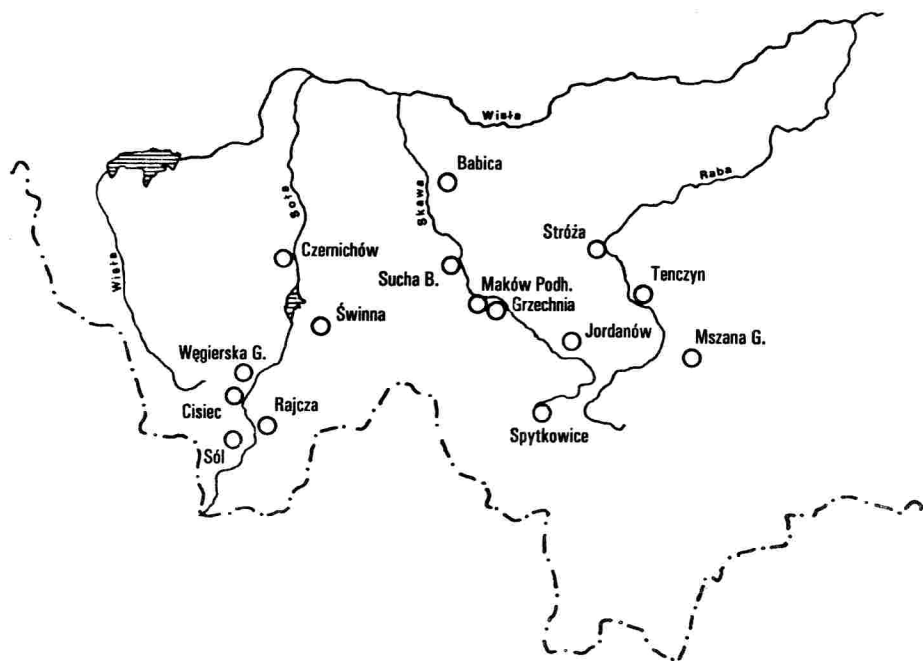
Zagadnienia rozmieszczenia, wydajności oraz reżimu hydrologicznego i hydrochemicznego źródeł Karpat fliszowych mają już bogatą literaturę i nie sposób podać tu wszystkich znanych autorowi publikacji na ten temat. Dość wymienić prace: J. Pawlika-Dobrowolskiego (1965), K. Waksmundzkiego (1971), J. Koniar-Schaeferowej (1972), Z. Pietrygowej (1976), E. Kullmanna i J. Petraša (1979) oraz pracę autora (1996).

W ocenie Dynowskiej (1986), jak też innych wymienionych autorów, w Karpatach fliszowych przeważają źródła zwietrzelinowe i skalno-zwietrzelinowe. Podobne wnioski znaleźć można w pracach E. Kullmanna i J. Petraša oraz V. Böhma (1983), a odnoszących się do źródeł słowackiej części Karpat fliszowych oraz w pracy A. S. Kleczkowskiego (1979), w której autor przedstawia niektóre wyniki badań krenologicznych w ukraińskiej części Karpat.

Źródła w Karpatach fliszowych pojawiają się zwykle na erozyjnie odsłoniętych kontaktach zwietrzliny i skały litej. Miejsca wypływu „wędrują” przy tym wzdłuż stoku w zależności od wielkości zasilania i związanego z nim stanu wody podziemnej w drenowanym zbiorniku. Wielu cytowanych autorów podkreśla, że aktualny stan zasobności zbiornika warunkuje nawet typ wypływu, np. przy dużych zasobach młaki i wycieki stają się źródłami właściwymi.

Wydajności zinwentaryzowanych źródeł w Beskidach nie są duże i tylko wyjątkowo przekraczają $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Przeważają wypływy o wydatku średnim z przedziału: $0,1\text{--}0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Większość źródeł charakteryzuje się też dużą zmiennością wydatku. Dyspersja ta uzależniona jest od położenia źródła (stokowe, dolinne), od charakteru drenowanego zbiornika (zwietrzelina, piaskowce), a także od wielkości i sposobu zasilania wodonośca.

Sieć stałych punktów pomiarowych wydajności źródeł jest w Beskidach rzadka i co ważne, prawie wszystkie dostępne serie pomiarowe pochodzą z Beskidów Zachodnich (Beskid Żywiecki, Śląski, Makowski, Gorce). W prezentowanym opracowaniu analizie poddano 15 serii średnich miesięcznych wydajności źródeł. Materiał hydrometryczny pochodzi z lat 1979–1991 (Sól, Rajcza, Węgierska Górka, Cisiec, Świnna, Czernichów) i z okresu 1980–1991 (pozostałe źródła) – tab. 1. Pomiary wydajności (zwykle codzienne) wykonywane były w ramach podstawowej i specjalnej sieci IMiGW. Spośród 15 wypływów, po 6 znajduje się w dorzeczeniach Soły i Skawy, a 3 w zlewni Raby – rys. 1. Większość źródeł drenuje różne ogniwa fliszu magurskiego oraz jego zwietrzelinę. Badane wypływy mają najczęściej charakter stokowy, skalno-zwietrzelinowy z mocno zróżnicowanym udziałem wód szczelinowych w ogólnej masie odpływu. Wypływają one zwykle na wysokościach od 300 do około 500 m n.p.m. – tab. 1.



Rys. 1. Rozmieszczenie badanych źródeł

Fig. 1. Studied springs location

Tabela 1

Położenie źródeł
Location of springs

Źródło	Φ	λ	H	Dorzecze	Zbiornik wód podziemnych	Region
Sól	49°30'	19°04'	540	Soła	piaskowce i łupki magurskie	Beskid Żywiecki
Rajcza	49°31'	19°07'	495	Soła	piaskowce i łupki magurskie	Beskid Żywiecki
Węgierska Górka	49°37'	19°07'	435	Soła	piaskowce, zlepienie i łupki	Beskid Żywiecki
Cisiec	49°35'	19°05'	430	Soła	piaskowce i łupki krośnieńskie	Beskid Śląski
Świnna	49°40'	19°15'	380	Soła	piaskowce i łupki podmagurskie	Beskid Żywiecki
Czernichów	49°46'	19°12'	325	Soła	piaskowce i łupki godulskie	Beskid Śląski
Maków	49°43'	19°21'	360	Skawa	żwiry i inne osady dolinne	Beskid Makowski
Sucha Beskidzka	49°46'	19°36'	330	Skawa	piaskowce magurskie	Beskid Makowski
Babica	49°54'	19°33'	290	Skawa	łupki wierzchowskie	Pogórze Wielickie
Spytkowice	49°34'	19°45'	598	Skawa	margle łuckie	Beskid Żywiecki
Jordanów	49°39'	19°50'	450	Skawa	piaskowce magurskie	Beskid Makowski
Grzechnia	49°42'	19°37'	572	Skawa	piaskowce magurskie	Beskid Makowski
Tenczyn	49°41'	19°57'	440	Raba	piaskowce, łupki i margle magurskie	Beskid Wyspowy
Mszana Górna	49°38'	20°09'	490	Raba	piaskowce i łupki krośnieńskie	Gorce
Stróża 1	49°47'	19°54'	500	Raba	piaskowce magurskie	Beskid Wyspowy

PODSTAWOWE CECHY STATYSTYCZNE SZEREGÓW ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH WYDAJNOŚCI WYBRANYCH ŹRÓDEŁ KARPACKICH

Średnie wieloletnie wydajności badanych źródeł są dość mało zróżnicowane i zawierają się w granicach jednego rzędu wielkości: od 0,06 (Stróża 1) do $0,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Czernichów) – tab. 2. Zgodnie z klasyfikacją Meinzera są to więc źródła o bardzo małej wydajności. Współczynniki zmienności w seriach średnich miesięcznych wydatków są bardziej zróżnicowane: od kilku procent (Tenczyn) do ponad 130% (Czernichów). Rozkłady wydajności są w większości skośne lub bardzo skośne prawostronnie. Wyjątkiem są wypływy w Makowie i Babicy. Ich średnie miesięczne wydajności charakteryzują się rozkładem quasi-normalnym. Rysunek 2 przedstawia wieloletnią zmienność wydatku 2 źródeł charakteryzujących się wysokim i niskim współczynnikiem zmienności.

Bezwładność w szeregach można ocenić na podstawie współczynników autokorelacji. Wyjawszy źródła w Soli i Stróży, współczynniki autokorelacji, przy przesunięciu 1 (R_1), pozostałych źródeł są istotne na poziomie 5%. W trzech przypadkach (Maków, Babica, Tenczyn) są one istotne nawet na poziomie 0,1%. W seriach tych statystyczną istotność wykazują także trzy kolejne współczynniki autokorelacji (przesunięcie o 2, 3, 4), a wartość tych współczynników maleje eksponencjalnie wraz ze wzrostem długości kroku przesunięcia. Zatem proces opróżniania zbiorników wód podziemnych drenowanych przez te źródła ma „bardzo czerwone” widmo, a same zbiorniki charakteryzują się długą „pamięcią” o poprzednich stanach.

Szczególnie ciekawy jest przypadek źródła w Makowie. Inercja wydatku dorównuje tu bezwładności charakteryzującej wypływy drenujące zasobne i rozległe zbiorniki w skałach węglanowych (Jokiel 1994b). Nawet dwunasty współczynnik autokorelacji jest jeszcze wysoki ($R_{12} = 0,31$). Jednak w większości przypadków „pamięć” zbiorników wód podziemnych jest krótka i nie wykracza poza horyzont jednego miesiąca. Stanowi to dowód, iż rozmiary, drenowanych przez te źródła, struktur wodonośnych są małe, a prędkość wymiany wód w zbiornikach duża. Zauważmy też, że tempo odnawiania zasobów wód podziemnych jest w przypadku większości źródeł porównywalne z tempem wymiany wód w strefie hydrologicznie czynnej oszacowanym innymi metodami (Jokiel 1994a). Wartości funkcji autokorelacyjnych, dla przesunięć od 1 do 40, dwu badanych źródeł prezentuje rys. 3.

Dla poszczególnych serii obliczono też parametry równań trendów liniowych. W ośmiu przypadkach stwierdzono tendencję malejącą, w siedmiu zaś rosnącą, przy czym równania okazały się statystycznie nieistotne. Współczynniki kierunkowe równań trendów zawierały się w przedziale: od $-0,000025$ (Tenczyn) do $+0,0016$ (Spytkowice). W ujęciu przestrzennym trudno doszukać się tu jakiegoś porządku i to zarówno w aspekcie kierunku, jak i poziomu istotności oszacowanych tendencji.

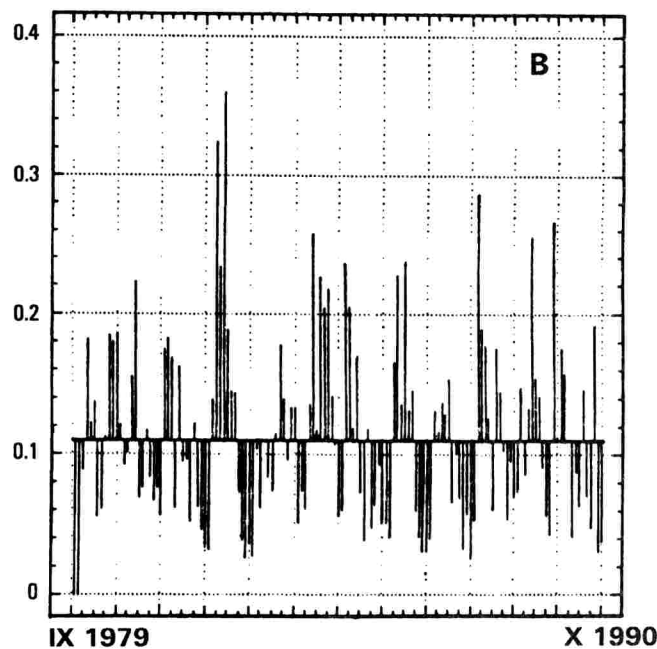
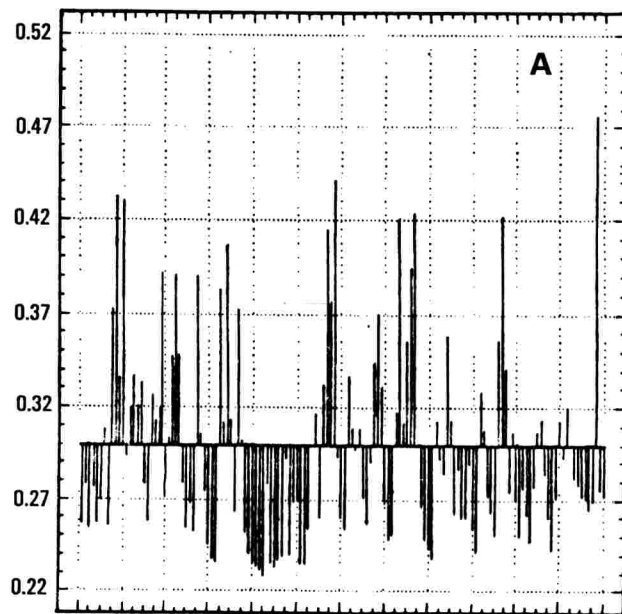
Tabela 2

Wybrane miary statystyczne szeregów średnich miesięcznych wydajności źródeł
Selected statistical measures of the average monthly spring yield series

Źródło	Q_s	C_v	A_s	R_1	SS_{max}	PSS_{max}	SS_{min}	PSS_{min}	Is	$SWTr$
Sól	0,62	69,6	4,29	0,17	175,4	III/74	40,0	X/285	4,38	0,17
Rajcza	0,33	64,5	12,95	0,51	132,9	VI/163	59,5	XI/314	2,23	0,11
Węgier. Górka	0,48	81,6	7,13	0,34	159,2	III/74	39,6	XI/314	4,02	-0,05
Cisiec	0,11	59,2	4,51	0,41	154,0	III/74	61,6	X/285	2,50	-0,03
Świnna	0,30	17,7	5,64	0,40	108,6	VI/163	86,4	XI/314	1,26	-0,03
Czernichów	0,90	131,1	18,38	0,71	141,7	IV/103	43,7	XI/314	3,24	-1,22
Maków Pod.	0,21	64,2	-1,15	0,92	111,3	VI/163	91,3	XII/345	1,22	-0,90
Sucha Besk.	0,08	73,8	3,18	0,55	151,5	V/103	47,6	X/285	3,18	-0,87
Babica	0,21	36,8	-0,24	0,86	110,3	VI/163	84,0	X/285	1,31	0,07
Spytkowice	0,35	58,7	5,50	0,44	141,9	III/74	63,5	XI/314	2,23	0,46
Jordanów	0,81	24,6	3,10	0,69	108,4	VI/163	88,4	XI/314	1,23	0,12
Grzechnia	0,83	97,8	8,35	0,39	173,4	IV/103	30,2	XI/314	5,74	-0,18
Tenczyn	0,17	7,5	3,74	0,85	103,1	VI/163	97,0	II/43	1,06	-0,01
Mszana Górna	0,28	39,2	2,08	0,52	126,0	IV/103	69,1	XI/314	1,82	0,03
Stróża 1	0,06	75,7	44,60	0,03	159,4	III/74	79,6	X/285	2,00	0,15

Q_s – średnia wydajność ($dm^3 \cdot s^{-1}$); C_v – współczynnik zmienności (%); R_1 – pierwszy współczynnik autokorelacji; A_s – estymator asymetrii (współczynnik skośności); SS_{max} – składnik sezonowy maksymalny (%); PSS_{max} – pora składnika sezonowego maksymalnego (°); $SWTr$ – standaryzowany współczynnik trendu (%); SS_{min} – składnik sezonowy minimalny (%); PSS_{min} – pora składnika minimalnego (°); Is – indeks sezonowości.

Q_s – average yield ($dm^3 \cdot s^{-1}$); C_v – variation coefficient (%); R_1 – first autocorrelation coefficient; A_s – asymmetry estimator (coefficient of skewness); SS_{max} – maximum seasonal component (%); PSS_{max} – time of maximum seasonal component (°); $SWTr$ – standardised trend coefficient (%); SS_{min} – minimum seasonal component (%); PSS_{min} – time of minimum component (°); Is – seasonal index.

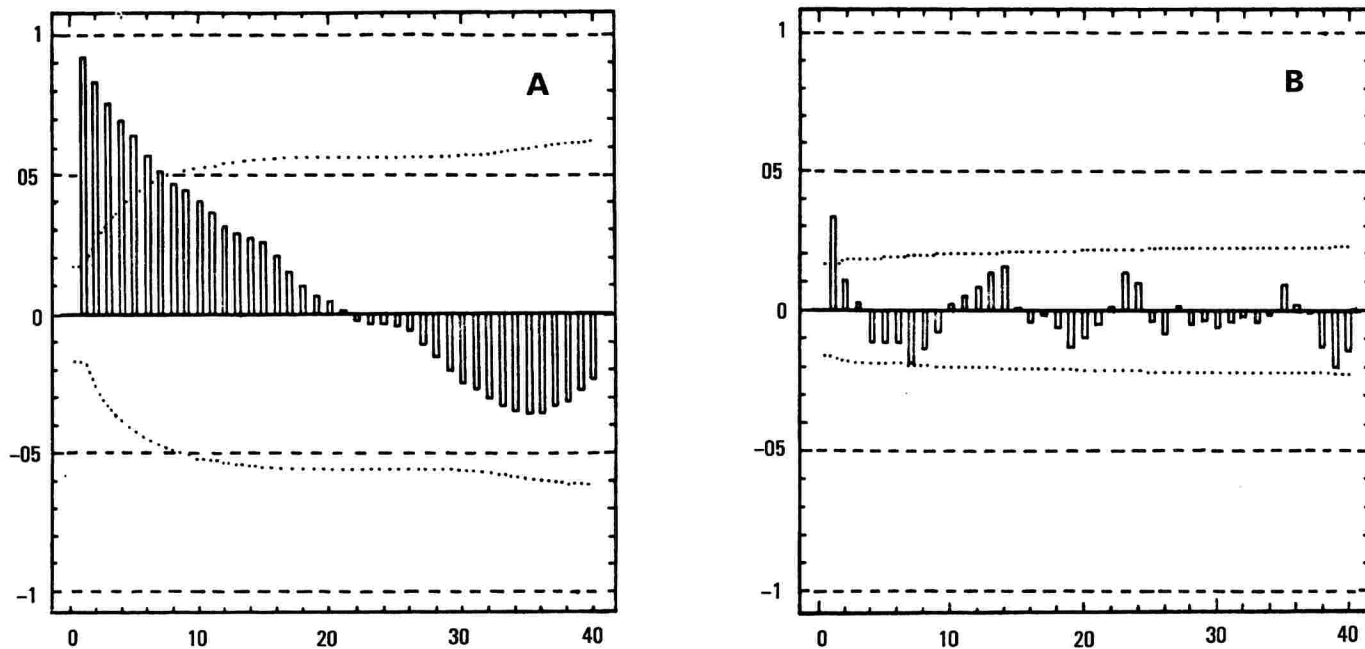


Rys. 2. Miesięczne odchylenia wydatku źródeł od średniej wieloletniej

A – źródło Świnna, B – źródło Cisiec

Fig. 2. Monthly spring yield deviations from a long-period average

A – the Świnna spring, B – the Cisiec spring



Rys. 3. Funkcja autokorelacyjna średnich miesięcznych wydajności źródeł: A – źródło w Makowie, B – źródło w Węgierskiej Górze
Wykropkowano 95% poziom istotności współczynników autokorelacji przy odpowiednich przesunięciach

Fig. 3. Autocorrelation function of the monthly yield spring averages: A – spring in Maków, B – spring in Węgierska Górka
95% importance level of autocorrelation coefficient with the required displacements was underlined

Obliczono też względne wielkości współczynników kierunkowych poszczególnych równań trendu (SWTr), czyli, wyrażone w procentach, ilorazy współczynników kierunkowych równań i średnich wydajności źródeł – tab. 2. Charakterystyki te pozwalają ocenić i porównać względne przyrosty lub ubytki wydajności w jednostce czasu. Z analizy tych współczynników wynika, że najsilniej zaznaczone są ujemne tendencje w przypadku źródeł w Czernichowie, Makowie i Suchej oraz dodatni trend wydajności wpływu w Spytkowicach. W pozostałych przypadkach względna skala zmian wydajności jest mała, a SWTr nie przekraczają kilkunastu setnych procenta średniej na miesiąc.

Kolejna grupa charakterystyk związana jest z analizą wahań sezonowych. Do ich oceny zastosowano multiplikatywne wskaźniki sezonowości (składniki sezonowe) wraz z oszacowanym na ich podstawie „indeksem sezonowości”. Równolegle określono pory pojawiania się maksymalnych i minimalnych wskaźników sezonowości.

W celu obliczenia składników sezonowych dla poszczególnych miesięcy konieczne jest porównanie wyrazów pierwotnego szeregu czasowego z szeregiem 12-miesięcznych, centrowanych, średnich ruchomych. Wskaźniki SS_{max} i SS_{min} są więc średnimi konkretnych wskaźników dla jednoimiennych podokresów 12-miesięcznego cyklu. Wyrażone w procentach pokazują zatem przeciętną skalę odchyień w stosunku do poziomu zjawiska określanego przez jego trend. W tab. 2 zamieszczono wyłącznie największe i najmniejsze wskaźniki, a zatem maksymalne dodatnie i maksymalne ujemne odchylenia od przeciętnego, w danym momencie, poziomu wydajności – SS_{max} i SS_{min} .

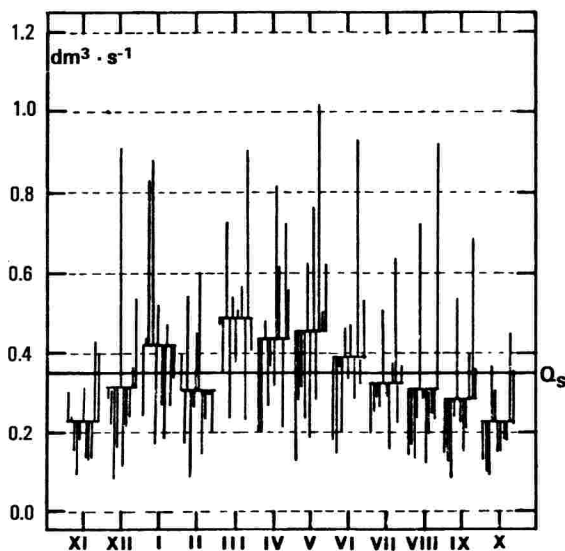
Obliczony indeks sezonowości Is , czyli stosunek SS_{max} do SS_{min} , może być traktowany jako swoista miara dyspersji, dla której płaszczyzną odniesienia jest przeciętna wydajność źródła, w danej chwili, a jednocześnie jako charakterystyka umożliwiająca porównanie stopnia sezonowości wydatków poszczególnych źródeł. Maksymalne i minimalne składniki sezonowe dotyczą poszczególnych miesięcy. Operowanie nazwami tych miesięcy w dalszych procedurach statystycznych jest dość niewygodne. Zatem porę maksymalnego i minimalnego składnika sezonowego określono w mierze kątowej, przyjmując: 1 rok = 365,25 dni = 360° . Tym samym środkiem odpowiednich miesięcy przypisano miary kątowe – PSS_{max} i PSS_{min} (K o ż u c h o w s k i, W i b i g 1988).

Maksymalne wskaźniki sezonowości są dość zróżnicowane: od ponad 170 (Sól, Grzechnia) do niespełna 110% (Tenczyn, Jordanów, Świnna). Podobną skalą zmienności charakteryzują się wskaźniki minimalne: od poniżej 40 (Grzechnia, Sól, Węgierska Górka) do ponad 90% (Tenczyn, Maków). Indeksy sezonowości Is zawierają się również w dość szerokim przedziale: od 1,07 (Tenczyn) do powyżej 5,7 (Grzechnia) – tab. 2. Łatwo zauważyć zbieżność między wielkościami indeksu sezonowości i współczynnika zmienności, jak też korelację tegoż indeksu z siłą inercji wyrażoną przez pierwszy współczynnik autokorelacji R_1 . Wysokim Is odpowiada duża zmienność wydajności i odwrotnie – tab. 2. Natomiast im większy indeks

sezonowości, tym mniejszy współczynnik autokorelacji. Istnieje więc związek wielkości drenowanego zbiornika ze skalą zmienności wydatku źródła, jak też z tempem odnawiania gromadzonych w nim zasobów. Trudno zaś dostrzec jakiegokolwiek powiązania między charakterystykami zmienności, sezonowości i bezwładności wydatku a średnią wydajnością źródła.

Maksymalne wydatki źródeł występują najczęściej w marcu (5 przypadków), kwietniu (4 przypadki) oraz w czerwcu (6 przypadków) – PSS_{max} (tab. 2). W miesiącach wiosennych maksima wydajności pojawiają się w źródłach o małej bezwładności i dużej zmienności tegoż wydatku. Ekstrema wczesnoletnie odnotowuje się najczęściej w przypadku źródeł charakteryzujących się „dobrą pamięcią” i niskimi indeksami sezonowości (Maków, Babica, Jordanów, Tenczyn).

Wydajności minimalne koncentrują się w listopadzie (8 przypadków), w październiku (5 przypadków) oraz w grudniu (Maków) i w lutym (Tenczyn) – PSS_{min} (tab. 2). Zauważmy, że pora wydatków minimalnych jest bardziej rozciągnięta w czasie, a minima zimowe występują w źródłach charakteryzujących się stabilnym wydatkiem i drenujących stosunkowo rozległe i zasobne zbiorniki dolinne (Maków) i skalne (Tenczyn). Przeciętną i ekstremalną skalę zmienności wydatku w poszczególnych miesiącach dla źródła Spytkowice dobrze oddaje rys. 4.



Rys. 4. Wieloletnia zmienność wydajności źródła Spytkowice w układzie sezonowym

Fig. 4. Multiannual, seasonal variability of the Spytkowice spring yield

PODOBIEŃSTWA I RÓŻNICE REŻIMU WYDAJNOŚCI BADANYCH ŹRÓDEŁ

Wieloletnią i sezonową zmienność wydajności poszczególnych źródeł opisuje 10 charakterystyk odzwierciedlających jej różne aspekty. Kiedy spojrzymy na tę dyspersję przez pryzmat tychże miar, szybko dostrzeżemy pewne podobieństwa, rysujące się między poszczególnymi wpływami. Dotyczą one zarówno pojedynczych cech reżimu, opisywanych przez określone charakterystyki, jak też – co zdarza się częściej – ich sekwencji. Mimo to łatwo jednak zauważyć, że pojawiająca się dość często w literaturze teza o mało zróżnicowanym reżimie wydajności źródeł drenujących flisz Karpat polskich nie jest prawdziwa. Świadczy o tym między innymi duża dyspersja wielu prezentowanych miar nawet w tej, co warto podkreślić, stosunkowo nielicznej próbie badanych wpływów.

Równoczesna analiza podobieństw i różnic w wektorach 10 badanych charakterystyk opisujących źródła jest trudna i nie pozwala zwykle na dokonanie uogólnień. Uzyskane w ten sposób wyniki są przy tym trudne do interpretacji. Zastosowano więc dość prosty zabieg polegający na agregacji informacji niesionych przez poszczególne charakterystyki i określeniu zbioru zmiennych zastępczych. By uniezależnić się od jednostek, w jakich wyrażono zmienne pierwotne i zapewnić sumowalność zmiennych zastępczych, przeprowadzono standaryzację tych pierwszych. Równocześnie, by nie dublować wnoszonych informacji, zbiór charakterystyk pierwotnych ograniczono do 8, usuwając $SS_{\max}$ i $SS_{\min}$. Te same informacje wnosi bowiem ich iloraz zdefiniowany jako Is .

Transformacji 8 standaryzowanych zmiennych pierwotnych w zmienne zastępcze, niosące maksymalną ilość informacji, dokonano, szeroko opisaną w literaturze, metodą składowych głównych. Składowe te wyprowadzono z macierzy korelacyjnej. Pierwiastki charakterystyczne trzech pierwszych składowych wynoszą: 3,08; 1,66; 0,85, a wyjaśniają one odpowiednio: 47, 25 i prawie 13% ogólnej wariancji w macierzy zmiennych oryginalnych.

Analiza macierzy wartości charakterystycznych dowiodła, że największy ładunek informacji do pierwszej składowej (S_1) wnoszą: współczynnik zmienności (C_v) i indeks sezonowości (Is); do drugiej (S_2): współczynnik autokorelacji (R_1) i względny współczynnik trendu ($SWTr$), zaś do trzeciej: współczynnik asymetrii rozkładu (A_s). Dlatego też pierwszą składową można traktować jako zmienną waloryzującą skalę sezonowej zmienności wydatku źródeł. Im większa wartość S_1 , tym większą sezonowością wydatku charakteryzuje się dane źródło. Druga składowa opisuje natomiast poziom inercji wydatku i wagę zmian długookresowych. Jest ona wprost proporcjonalna do $SWTr$ i odwrotnie proporcjonalna do R_1 (odpowiednie wartości własne wynoszą 0,715 i -0,647). Ciekawe jest, że niektóre źródła mające wysoki

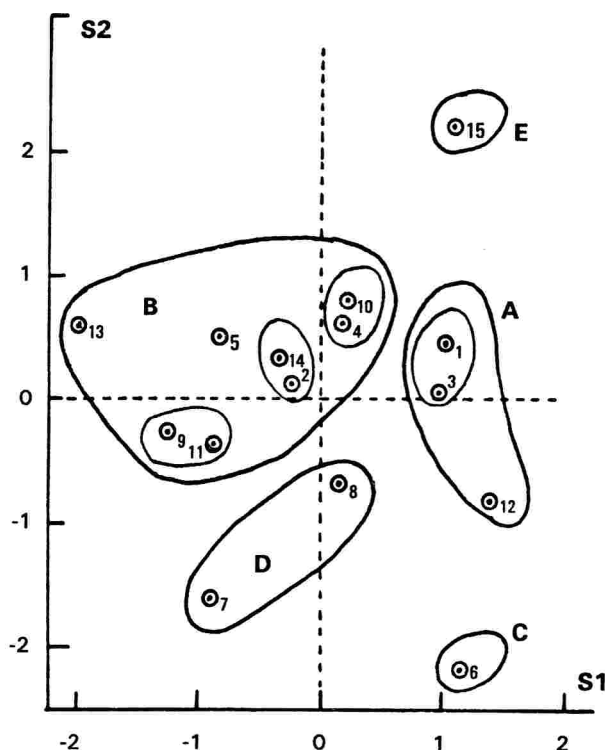
współczynnik autokorelacji, charakteryzują się równocześnie ujemnym trendem wydajności. Trzecia składowa, uzależniona głównie od A_3 , może być traktowana jako zmienna waloryzująca podatność źródła na wysychanie. Wyipywy paraokresowe z pojawiającymi się rzadko bardzo wysokimi maksimami i długotrwałymi okresami niskich wydajności, mają najczęściej wysoką wartość S_3 . Łącznie, trzy pierwsze składowe wyjaśniają niemal 85% ogólnej dyspersji w zbiorze zmiennych oryginalnych.

Aby ocenić stopień podobieństwa reżimów wydajności badanych źródeł, a tym samym skalę podobieństwa samych źródeł, zastosowano różne metody analizy skupień. Spełniają one w zasadzie postulat minimum różnic wewnątrzgrupowych i maksimum międzygrupowych. Z uwagi na stosunkowo małą liczebność próbki badanych źródeł (15) zrezygnowano jednak z przeprowadzenia pełnej klasyfikacji hierarchicznej.

Skupienia tworzą przy zastosowaniu różnych kryteriów agregacji: średniej, mediany, centroidu, najbliższego i najdalszego sąsiada. Miara „odległości” między poszczególnymi punktami (źródłami) w przestrzeni wielowymiarowej były odległości euklidesowe. Wymiary przestrzeni ograniczono do trzech – położenie punktów wyznaczały współrzędne S_1 , S_2 i S_3 . Pozwoliło to na uproszczenia przy interpretacji skali podobieństwa poszczególnych źródeł czy ich grup, jak i na łatwą waloryzację własności opisywanych przez poszczególne składowe.

Uzyskane w ten sposób wyniki wskazują, że największą spójnością, przy stosunkowo najmniejszej liczbie skupień i bez względu na zastosowane kryterium agregacji, charakteryzuje się podział na 5 grup, w tym dwie grupy jednoelementowe (A, B, C, D, E) – rys. 5. Na prezentowanym rysunku przedstawiono podział uzyskany przy zastosowaniu kryterium najdalszego sąsiada. Położenie punktów reprezentujących poszczególne źródła i ich grupy opisują tu dwie współrzędne – S_1 i S_2 (pominięto wymiar S_3). Warto podkreślić, że grupy jednoelementowe tworzyły się bez względu na stosowane kryterium podziału, jak i to, że składały się na nie zawsze źródła w Stróży i Czernichowie. Dodajmy przy tym, iż wpływy te nie tylko odbiegają reżimem od pozostałych, ale też nie wykazują wzajemnego podobieństwa.

Na rys. 5 zaznaczono również grupy dwuelementowe, tworzące się na najwyższym poziomie skali podobieństwa, a więc źródła najbardziej do siebie podobne. Pojawiały się zwykle cztery takie pary: Cisiec-Spytkowice, Rajcza-Mszana, Sucha-Jordanów oraz Sól-Węgierska Górka. Trzy z tych par wchodzi w skład najliczniejszej grupy – B, czwarta, wraz ze źródłem w Grzechni, tworzy grupę A. Zauważmy, że stopień podobieństwa, jak i niepodobieństwa reżimu nie zależy, w istotny sposób, od dorzecza, w którym wypływa źródło, regionu fizycznogeograficznego, a także od położenia morfologicznego wypływu i rodzaju wodonośca.



Rys. 5. Podział badanej próbki źródeł na grupy według kryterium najdalszego sąsiada i przy uwzględnieniu trzech pierwszych składowych głównych: S1, S2 i S3

Fig. 5. Division of the studied spring samples into groups of the „farthest neighbour” criterion with regard to the first three main components: S1, S2, S3

Położenie punktów reprezentujących poszczególne grupy źródeł w skali S1, S2 i S3 wskazuje, że skrajnie dużą zmiennością sezonową wydatku przy jego przeciętnej inercji, charakteryzują się źródła z grupy A. Podobną skalą sezonowości charakteryzują się też wypływy w Stróży i w Czernichowie. Różni je jednak bardzo skala inercji oraz kierunek i siła wykrytych tendencji wieloletnich. Źródła najliczniejszej grupy charakteryzują się natomiast przeciętną skalą zmian wieloletnich przy średniej i niskiej zmienności sezonowej. Inaczej w przypadku grupy D (Maków, Sucha). Średniej zmienności sezonowej towarzyszy duża bezwładność wydatku i silnie zaznaczony trend ujemny.

Znajomość stosunków krenologicznych w Karpatach zarówno w aspekcie inwentaryzacji źródeł i innych wpływów wód podziemnych, jak też w kontekście reżimu ich wydajności jest problemem ważnym nie tylko z punktu widzenia poznawczego, ale i praktycznego. Wynika to z dość prostego faktu.

Otóż oceny zasobności płytkich zbiorników wód podziemnych dokonać można, stosunkowo łatwo, właśnie na podstawie materiałów i badań krenologicznych. Warto jednocześnie podkreślić, że na terenach górskich metody bazujące na tego rodzaju przesłankach dają najlepsze wyniki i to przy stosunkowo niskich nakładach. Prawie na całym terytorium Karpat większość istniejących lub projektowanych ujęć wód podziemnych bazuje w całości lub w części na zasobach płytkich, a w szczególności na wodach krążących w strefie aktywnej wymiany. Wydaje się więc, że wszelkie badania mające na celu rozpoznanie różnych form zasilania i drenażu tej strefy zasługują na uwagę i winny być nadal rozwijane.

LITERATURA

- Boryczka J., 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, Wyd. UW, Warszawa
- Böhm V., 1983, *Regionalna hydrogeologia ČSSR II (Zapadne Karpaty)*, Univerzita Komenského, Bratislava
- Czarnecka H., 1975, *Reżim źródeł na Wyżynie Małopolskiej*, Prace IMiGW, z. 6, Warszawa
- Jokiel P., 1994a, *Zasoby, odpływ i odnawialność wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*, Acta Geogr. Lodz., 66–67, Łódź
- Jokiel P., 1994b, *Wieloletnie i sezonowe zmiany wydajności wybranych źródeł Polski*, Wiad. IMiGW, 4, Warszawa
- Jokiel P., 1996, *Wzorcowe krzywe wysychania i potencjały zasobności kilkunastu źródeł karpackich*, Wiad. IMiGW, z. 3, Warszawa (w druku)
- Jokiel P., Kożuchowski K., 1989, *Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu*, Dok. Geogr. IGiPZ PAN, 6, Warszawa
- Kleczkowski A. S., 1979, *Hydrogeologia ziem wokół Polski*, Wyd. Geol., Warszawa
- Koniar-Schaefer J., 1972, *Wpływ budowy geologicznej i rzeźby terenu na regresję odpływu małych cieków karpackich*, Folia Geogr., Series Geogr. Physica, 6, Kraków
- Kożuchowski K. (red.), 1990, *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*, Wyd. UŁ, Łódź
- Kożuchowski K., Wibig J., 1988, *Kontynentalizm płuwialny w Polsce: Zróżnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie*, Acta Geogr. Lodz., 55, Łódź
- Kullmann E., Petraš J., 1979, *Vytokove pomery pramenov, a ich vztach k horninovemu prostrediu*, Zb. Prac SHU, Alfa, Bratislava
- Michalczyk Z., 1993, *Źródła zachodniej części Wyżyny Lubelskiej*, Wyd. UMCS, Wyd. Biol. i Nauk o Ziemi, Lublin
- Nowakowski C., 1976, *Charakterystyka źródeł strefy czołowomorenowej Pojezierza Suwalskiego*, Biul. Geol., 21, Warszawa
- Pawlik-Dobrowolski J., 1965, *Uźródłowienie południowej Polski*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 12, Kraków
- Pietrygowa Z., 1976, *Reżim źródeł stokowych i dolinowych w dorzeczu Skawy*, Folia Geogr., Series Geogr. Physica, 10, Kraków
- Waksmundzki K., 1971, *Zmienność naturalnych wypływów wody podziemnej w górskich obszarach fliszowych*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 29, Kraków

*Paweł Jokiel***SUMMARY**

The above given scientific description contains the analysis of multi-annual and seasonal changes in the outflow of 15 springs which emerge in the Carpathian flysch (fig. 1, tab. 1). 1979–1991 were the analysed years.

A greater part of the springs are characterized by a small average outflow and its considerable variability, a fact typical for the Carpathian flysch (tab. 2). A very big inertia of outflows has been noticed in the case of three springs. It indicates a considerable capacity of the drained water-bearing structures. The analyses of the trends have proved that they are statistically insignificant as well as the trends of the tendency do not show any space order.

The greatest seasonal variability can be observed in the case of springs with the highest variation coefficient and with the least inertia. The maximum yields of a greater part of the springs concentrate in the spring months (March, April) or in June. The minimal yields commonly appear in autumn (October, November).

The analysis of the first three main components lets us divide the searched springs into 5 groups of which two are one-element groups (fig. 5). The springs belonging to the groups divided in such a way have a similar outflow regime.