

POZNAN 1997

CZĘŚĆ I

19

MELIORACJE I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA



CCXCIV

ROZCZNIKI
AKADEMII ROLNICZEJ
W POZNANIU

ANTONI MILER

OKRESOWOŚĆ ODPLYWU ZE ZLEWNI STRUGI DORMOWSKIEJ

*Z Katedry Melioracji i Kształtowania Środowiska
Akademii Rolniczej w Poznaniu*

ABSTRACT. In the paper periodicity of out flow from small the Struga Dormowska river catchment and periodicity of factors that have influence on out flow (precipitation and air temperatures) using the harmonic (Fourier series) method were analyzed. Obtained empirical spectrum of out flow oscillations made possible eliminate 8 periods. Calculated the negative tendency of out flow in 9-years period can took as a temporary anomaly.

Key words: hydrology, small river catchments, out flow periodicity

Wstęp

Odływ rzeczny kształtowany jest w istotnym stopniu przez stosunki klimatyczne (opady atmosferyczne, temperatury powietrza) oraz modyfikowany przez czynniki fizjograficzne nieklimatyczne (**Dobija i Dynowska 1975**). Zakładając ścisły związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy czynnikami klimatycznymi a odpływem można przypuszczać, iż odpowiednie trendy czasowe i okresowości będą ze sobą korespondować. Założenie takie jest szczególnie uzasadnione dla rozszerzonej analizy i ewentualnej prognozy zmian odpływu w małych zlewniach, gdzie ciągi chronologiczne pomiarów hydrometrycznych są zwykle krótkie. W niniejszej pracy poddano analizie odpływ ze zlewni Strugi Dormowskiej (1987-1995, okres prowadzonych przez autora badań w tejże zlewni – **Miler 1994**) oraz opady atmosferyczne i temperatury powietrza dla Poznania (1848-1995, od początku okresu obserwacji tych parametrów – **Brazdil i in. 1992, Woś 1992**). Rozpoznanie trendów

i okresowości odpływu ze zlewni położonych w regionie Wielkopolski ma ważny aspekt nie tylko poznawczy, lecz także użytkowy, jako że jest to region o największych deficytach wody w Polsce (Woś 1989, Miler 1994, Woś 1994, Kowalczak i in. 1997).

Zakres i metodyka badań

Badania hydrologiczne będące podstawą niniejszej pracy prowadzono w okresie 9 lat (1987-1995) w małej zlewni Strugi Dormowskiej do przekroju Gorzyń (44,5 km²), położonej w północno-zachodniej części Pojezierza Wielkopolskiego. W ramach badań wykonywano m.in. ciągłą rejestrację stanów wody w cieku na przelewie pomiarowym w Gorzynie. Objęta badaniami zlewnia Strugi Dormowskiej oprócz znacznej jeziorności (ok. 2% pow. zlewni zajmują wody stojące) ma pozostałe parametry fizyczno-geograficzne zbliżone do innych zlewni Wielkopolski: średni spadek powierzchni 10,6‰, gęstość sieci rzecznej 0,6 km/km², zalesienie 23,6% oraz 76% gleb słabo gliniastych (Miler 1994). Liczne zbiorniki wodne mają na tyle znaczącą zdolność retencyjną, iż skutecznie chronią przed szkodliwymi skutkami zarówno nadmiarów, jak i niedoborów wody, jednocześnie nieco zmniejszając odpływ (średni odpływ jednostkowy w badanym dziesięcioleciu wynosił 2,09 l/s·km², a współczynnik odpływu 0,13).

Ocena warunków meteorologicznych w okresie badań przeprowadzona na podstawie rozkładów prawdopodobieństwa sum rocznych opadów atmosferycznych (rozkład Pearsona III typu) oraz średnich rocznych temperatur powietrza (rozkład normalny) wykazała, iż badany okres można traktować jako reprezentatywny, jako że występowały zarówno lata suche (1989, 1991, 1992), średnie (1986, 1990, 1993, 1995) i mokre (1987, 1988, 1994) (ryc. 1 i 2).

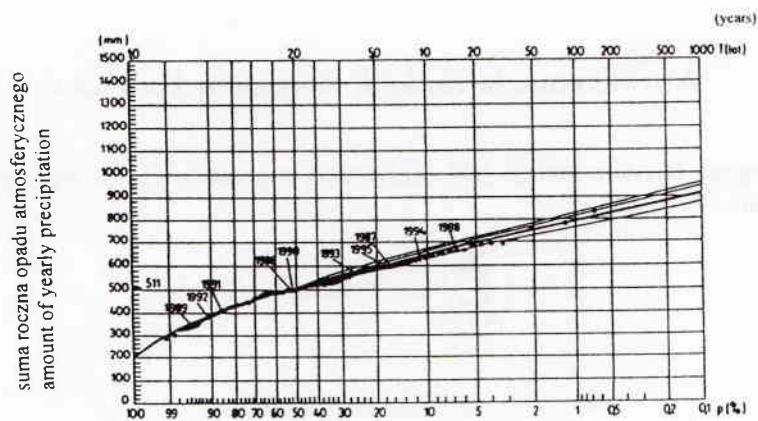
Zmiany klimatu, a w konsekwencji zmiany odpływu rzecznoego są powodowane przyczynami naturalnymi (m.in. zmiennością aktywności Słońca o okresach 11, 22, 35, 90 i 180 lat) i przyczynami antropogenicznymi (wzrost zanieczyszczeń atmosfery) (Lamb 1977, Maruszczak 1991, Obrębska-Starkel i Starkel 1991, Boryczka 1993, Woś 1994). Ciąg chronologiczny – szereg czasowy $F(t)$ dla danego parametru można opisać następująco:

$$F(t) = A_0 + A \cdot t + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cdot \sin \left(\frac{2 \cdot \Pi}{T_i} \cdot t + \varphi_i \right) + \varepsilon(t) \quad (1)$$

gdzie: A_0 – wartość stała,
 A – tendencja zmian,
 t – czas,
 A_i – amplituda,

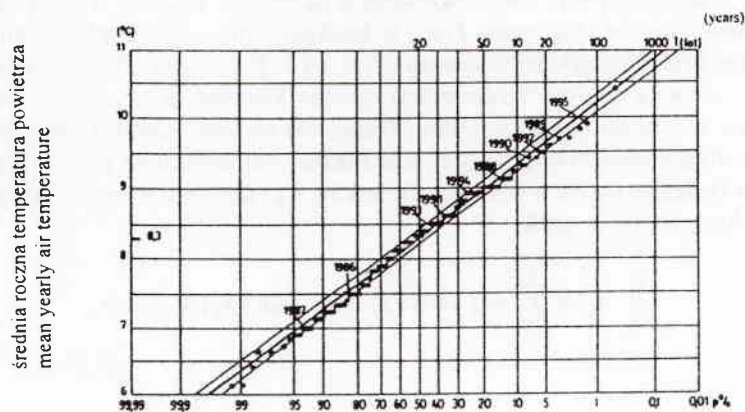
- T_i – okres,
 φ_i – przesunięcie fazowe,
 i – numer harmonicznej,
 $\varepsilon(t)$ – składnik losowy.

Do badania cykliczności szeregów czasowych stosowane są głównie dwie metody: analiza harmoniczna (bazująca na szeregu Fouriera) i analiza spektralna



Ryc. 1. Rozkład prawdopodobieństwa sum rocznych opadów atmosferycznych dla Poznania w latach 1848-1995

Fig. 1. Distribution of amount of yearly precipitation in Poznań in years 1848-1995



Ryc. 2. Rozkład prawdopodobieństwa średnich rocznych temperatur powietrza dla Poznania w latach 1848-1995

Fig. 2. Distribution of mean yearly air temperature in Poznań in years 1848-1995

(metoda autokorelacyjna). Ciekawą nową propozycję stanowi metoda „sinusoid regresji” zastosowana do oceny cykliczności parametrów Układu Słonecznego, w tym aktywności Słońca i parametrów określających klimat Ziemi (Boryczka 1993). Metoda ta jednak zakłada m.in. liniowość opisywanego systemu, co poddaje w wątpliwość uzyskane przy jej użyciu rezultaty. W niniejszej pracy zastosowano metodę analizy harmoniczej dającej więcej informacji niż metoda autokorelacyjna (możliwość określenia przesunięcia fazowego harmoniczych).

Aproksymacja funkcji szeregiem Fouriera

Szeregiem Fouriera funkcji $f(x)$ całkownej w przedziale $[-\Pi, +\Pi]$ nazywamy wyrażenie:

$$\frac{1}{2} \cdot a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos nx + b_n \cdot \sin nx) \quad (2)$$

gdzie:

$$a_n = \frac{1}{\Pi} \cdot \int_{-\Pi}^{+\Pi} f(x) \cdot \cos nx \cdot dx, \quad b_n = \frac{1}{\Pi} \cdot \int_{-\Pi}^{+\Pi} f(x) \cdot \sin nx \cdot dx, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Można wykazać (Leja 1973), iż gdy funkcja $f(x)$ jest przedziałami monotoniczna w przedziale $[-\Pi, +\Pi]$ i okresowa o okresie $2 \cdot \Pi$, to powyższy szereg (2) jest wszędzie zbieżny i ma sumę $f(x_0)$ w każdym punkcie x_0 ciągłości funkcji, a w każdym punkcie nieciągłości ma sumę $(f(x_0+) + f(x_0-))/2$. Da się zatem przedstawić za pomocą szeregu trygonometrycznego Fouriera w przedziale od $-\Pi$ do $+\Pi$ funkcje w pewnej mierze dowolne. Wzory (3) na współczynniki szeregu można otrzymać drogą interpolacji. W tym celu założmy, iż wielomian trygonometryczny stopnia n (zależny od $2n + 1$ współczynników α_k, β_k) jest równy w punktach x_j wartości funkcji $f(x_j)$, czyli:

$$\frac{1}{2} \cdot \alpha_0 + \sum_{k=1}^n (\alpha_k \cdot \cos kx_j + \beta_k \cdot \sin kx_j) = f(x_j) \quad (4)$$

gdzie:

$$x_j = \frac{2 \cdot \Pi}{2 \cdot n + 1} \cdot j, \quad j = -n, -n + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, n$$

Rozwiązując ten układ $2n + 1$ równań liniowych względem niewiadomych α_ν, β_ν , otrzymujemy następujące wzory:

$$\alpha_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \cos \nu x_j = \frac{1}{\Pi} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \cos \nu x_j \cdot \Delta x_j, \quad (\nu = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$\beta_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \sin \nu x_j = \frac{1}{\Pi} \sum_{j=-n}^n f(x_j) \cdot \sin \nu x_j \cdot \Delta x_j, \quad (\nu = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

gdzie:

$$\Delta x_j = \frac{2 \cdot \Pi}{2 \cdot n + 1}$$

Wartości (5) i (6) na α_ν , β_ν , gdy $n \rightarrow \infty$, a przyrosty $\Delta x_j \rightarrow 0$ równocześnie dążą do a_ν , b_ν wyrażonych wzorem (3).

Oczywiście, przedział $[-\Pi, +\Pi]$ może być zastąpiony innym przedziałem, w szczególności przedziałem $[0, T]$. W tym przypadku rozważamy funkcję $f(t)$ przedziałami monotoniczną w przedziale $[0, T]$ i okresową o okresie T . Wzory (5) i (6) na współczynniki α_ν , β_ν będą w tym przypadku miały postać:

$$\alpha_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=0}^{2n} f(t_j) \cdot \cos \nu \frac{2 \cdot \Pi}{T} t_j, \quad (\nu = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$\beta_\nu = \frac{2}{2 \cdot n + 1} \sum_{j=0}^{2n} f(t_j) \cdot \sin \nu \frac{2 \cdot \Pi}{T} t_j, \quad (\nu = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

gdzie:

$$t_j = \frac{T}{2 \cdot n + 1} \cdot \left(\frac{1}{2} + j \right), \quad j = 0, 1, \dots, 2n$$

Natomiast wielomian trygonometryczny (4) obecnie będzie miał postać:

$$\frac{1}{2} \cdot \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \sin \left(k \cdot \frac{2 \cdot \Pi}{T} \cdot t_j + \phi_k \right) \quad (9)$$

gdzie:

$$\gamma_k = \sqrt{\alpha_k^2 + \beta_k^2} - \text{amplituda } k\text{-tej harmonicznej} \quad (10)$$

$$\phi_k = \arctg \frac{\alpha_k}{\beta_k} - \text{faza początkowa } k\text{-tej harmonicznej} \quad (11)$$

Wartości γ_k (10) są podstawą oceny, która z harmonicznymi „odgrywa znaczącą rolę”.

Wyniki i dyskusja

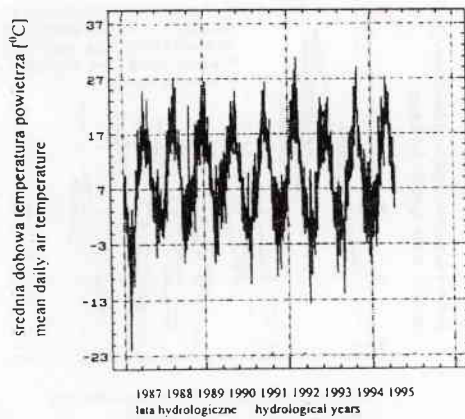
Na rycinie 5 przedstawiono średnie dobowe odpływy jednostkowe ze zlewni Strugi Dormowskiej do przekroju Gorzyń w latach hydrologicznych 1987-1995. Natomiast na rycinach 3, 4 i 6 przedstawiono jako „tło” odpowiednio średnie dobowe temperatury powietrza, sumy dobowe parowania terenowego (wg nomogramu Konstantinowa) i sumy dobowe opadów atmosferycznych w tymże okresie (dla Gorzyna). O ile dla przebiegów czasowych temperatur i parowania widać wyraźną cykliczność roczną, która mniej wyraźnie uwidacznia się dla odpływów, o tyle przebieg czasowy opadów ma charakter chaotyczny. W związku tym do badania okresowości odpływu przyjęto jego wartości średnie miesięczne.

Obliczone wzorem (10) amplitudy 53 harmonicznich dla średnich miesięcznych odpływów jednostkowych przedstawiono na rycinie 7. Znaczące wartości mają harmoniczne: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 i 14. Wskazuje to na istnienie okresowości odpowiednio: 8,9-, 4,5-, 3,0-, 2,2-, 1,3-, 1,1-, 1,0-(dominująca) i 0,6-letnich. Przebieg średnich miesięcznych symulowanych przez złożenie powyższych harmonicznich (i obliczonej stałej $1/2 \cdot \alpha_0 = 2,01$) niewiele odbiega od wartości pomierzonych (ryc. 8).

Trend czasowy średnich miesięcznych odpływów jednostkowych (q) wyraża się równaniem regresji: $q = 2,583 - 0,010 \cdot t$ (t – miesiące) i jest statystycznie istotnie malejący na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

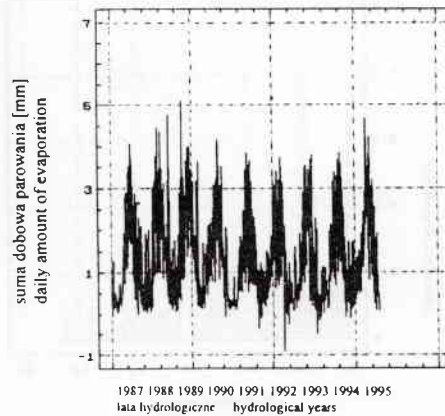
W celu oszacowania cykliczności odpływu Strugi Dormowskiej o okresach większych niż 9 lat poddano analizie harmonicznej „przyczyny”: sumy roczne opadów atmosferycznych i średnie roczne temperatury powietrza z okresu 1848-1995 (dla Poznania) (ryc. 9 i 10). Obliczone wzorem (10) amplitudy 73 harmonicznich przedstawiono odpowiednio na rycinach 11 i 12. Uzyskane widma oscylacji zarówno dla opadów, jak i temperatur mają złożony przebieg i trudno znaleźć zestaw dominujących okresowości. Dla temperatury można jedynie wskazać okresowość 7,7-letnią. Taką samą okresowość uzyskała, badając tendencje i cykle zmian temperatury powietrza w Polsce w latach 1951-1990 **Zmudzka** (1995). Konkludując, powyższe wyniki nie upoważniają do oszacowania okresowości odpływu z badanej zlewni w proponowany pośredni sposób – poprzez badanie okresowości opadów i temperatur.

Trendy czasowe sum rocznych opadów atmosferycznych (P) i średnich rocznych temperatur powietrza (T) wyrażają odpowiednio równania regresji: $P = 503,7 + 0,1 \cdot t$, $T = 8,04 + 0,003 \cdot t$ (t – lata) i są w obu przypadkach statystycznie nieistotne na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Trend średniego rocznego odpływu jednostkowego (Q) ze zlewni Strugi Dormowskiej wyraża równanie regresji: $Q = 2,536 - 0,106 \cdot t$ (t – lata) jest statystycznie nieistotny na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Zatem można przypuszczać, iż tendencja obniżania się odpływu ze zlewni Strugi Dormowskiej w ostatnich 9 latach jest zjawiskiem przejściowym.



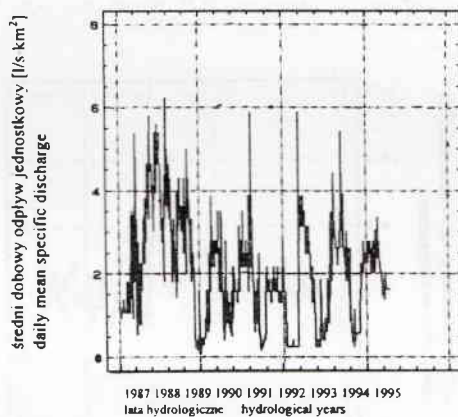
Ryc. 3. Przebieg średnich dobowych temperatur powietrza w Gorzyńiu w latach hydrologicznych 1987-1995

Fig. 3. Pattern of daily mean air temperatures in Gorzyń in hydrological years 1987-1995



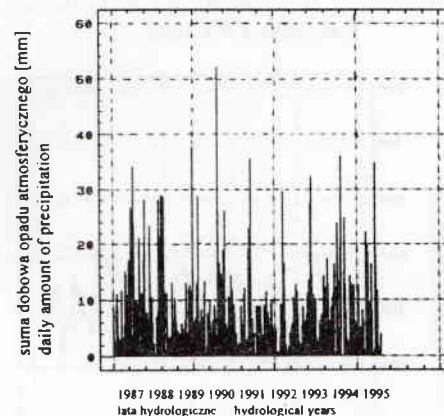
Ryc. 4. Przebieg sum dobowych parowania w Gorzyńiu w latach hydrologicznych 1987-1995

Fig. 4. Pattern of daily amount of evaporation in Gorzyń in hydrological years 1987-1995



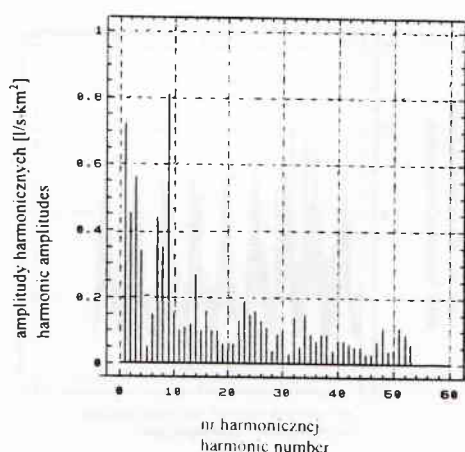
Ryc. 5. Przebieg średnich dobowych odpływów jednostkowych ze zlewni Strugi Dormowskiej w latach hydrologicznych 1987-1995

Fig. 5. Pattern of daily mean specific discharges from Struga Dormowska river catchment in hydrological years 1987-1995



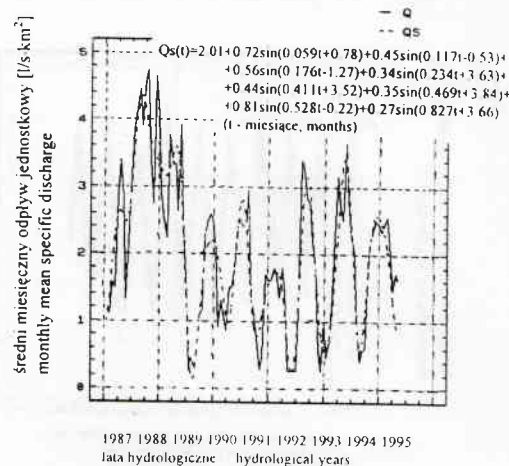
Ryc. 6. Przebieg dobowych sum opadów atmosferycznych w Gorzyńiu w latach hydrologicznych 1987-1995

Fig. 6. Pattern of daily amounts of precipitation in Gorzyń in hydrological years 1987-1995



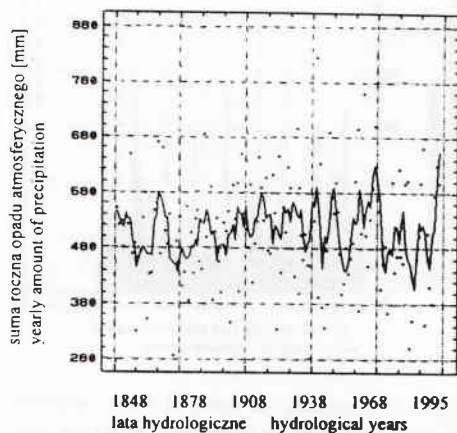
Ryc. 7. Widmo oscylacji średnich miesięcznych odpływów jednostkowych ze zlewni Strugi Dormowskiej w latach hydrologicznych 1987-1995

Fig. 7. Spectrum of oscillations of monthly mean specific discharges from Struga Dormowska river catchment in hydrological years 1987-1995

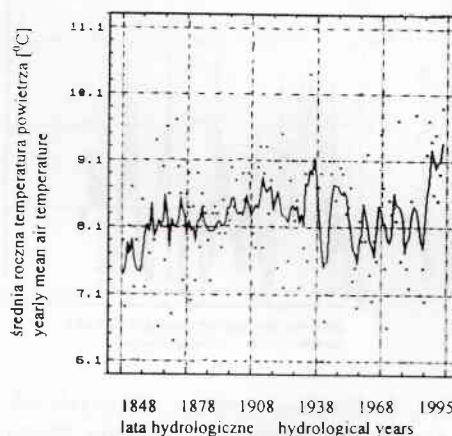


Ryc. 8. Przebieg średnich miesięcznych odpływów jednostkowych ze zlewni Strugi Dormowskiej, pomierzonych (Q), symulowanych (Q_s)

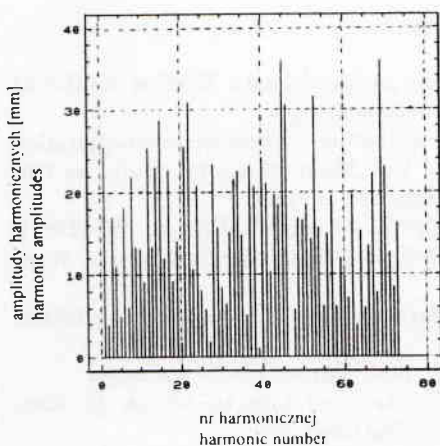
Fig. 8. Pattern of monthly mean specific discharges from Struga Dormowska river catchment, measured (Q), simulated (Q_s)



Ryc. 9. Przebieg sum rocznych opadów atmosferycznych w Poznaniu i jego wyrównanie przez 5-letnie średnie konsekwtywne
Fig. 9. Pattern of yearly amount of precipitation in Poznań and their equalise by 5 year consecutive means

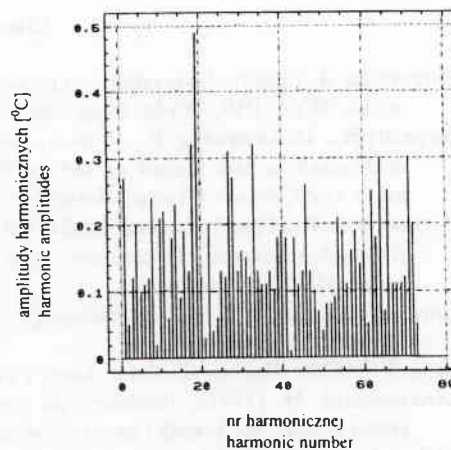


Ryc. 10. Przebieg średnich rocznych temperatur powietrza w Poznaniu i jego wyrównanie przez 5-letnie średnie konsekwtywne
Fig. 10. Pattern of yearly mean air temperatures in Poznań and their equalise 5 year consecutive means



Ryc. 11. Widmo oscylacji sum rocznych opadów atmosferycznych dla Poznania w latach 1848-1995

Fig. 11. Spectrum of oscillations of yearly amounts of precipitation in Poznań in years 1848-1995



Ryc. 12. Widmo oscylacji średnich rocznych temperatur powietrza dla Poznania w latach 1848-1995

Fig. 12. Spectrum of oscillations of yearly mean air temperature in Poznań in years 1848-1995

Podsumowanie

Do bezpośredniego badania okresowości odpływu ze zlewni Strugi Dormowskiej dysponowano stosunkowo krótką 9-letnią serią pomiarową. Analizę przeprowadzono dla średnich miesięcznych odpływów jednostkowych, aby przynajmniej częściowo wyeliminować przypadkowe błędy pomiarów. Uzyskane empiryczne widmo oscylacji umożliwia wydzielenie składowych harmoniczných o okresach: 8,9-, 4,5-, 3,0-, 2,2-, 1,3-, 1,1-, 1,0-(dominujący) i 0,6-letnich. Składowe harmoniczne o okresach dłuższych niż 9 lat próbowano szacować w sposób pośredni, analizując cykliczność „przyczyn”: opadów atmosferycznych i temperatur powietrza dla ok. 150-letnich serii pomiarowych. Jednak uzyskane empiryczne widma oscylacji dla obu parametrów są na tyle złożone, iż trudno wskazać zbiór składowych harmoniczných dominujących. Można jedynie w przypadku temperatury powietrza wskazać harmoniczną o okresie 7,7 roku.

Trend czasowy odpływu z badanej zlewni w analizowanym 9-letnim okresie był malejący, lecz należy traktować go jako chwilową anomalię. Świadczą o tym braki trendów czasowych temperatur powietrza i opadów atmosferycznych w okresie ok. 150-letnim.

Literatura

- Boryczka J. (1993): Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku. Wyd. UW, Wydz. Geografii i Studiów Regionalnych.
- Brazdil R., Dobrovolny P., Woś A. (1992): Fluctuation of atmospheric precipitation at Poznań in the period of 1848-1990. The Yale Mintz Memorial Symp. on Climate and Climate Change. Jerusalem, December 28-31: 19-31.
- Kowalczak P., Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Mager P., Pietras W. (1997): Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji dla obszaru dorzecza Warty. Wyd. Nauk. IMGW, Warszawa.
- Lamb H.H. (1977): Climate: present past and future. Climatic history and the future. Methuen, London.
- Leja F. (1973): Rachunek różniczkowy i całkowity. Bibl. Mat. 2. PWN, Warszawa.
- Maruszczak H. (1991): Tendencje do zmian klimatu w ostatnim tysiącleciu. W: Geografia Polski, środowisko przyrodnicze. PWN, Warszawa.
- Miler A. (1994): Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych. Roczn. AR Pozn. Rozpr. Nauk. 258.
- Obrebska-Starkel B., Starkel L. (1991): Efekt cieplarniany a globalne zmiany środowiska przyrodniczego. PAN Zesz. Inst. Geogr. Przestrz. Zagosp. 4.
- Woś A. (1992): Temperatura powietrza poszczególnych pór roku w Poznaniu w przekroju wieloletnim. Bad. Fizjograficzne nad Polską Zach. 44, Ser. A, Geogr. Fiz.: 177-183.
- Woś A. (1994): Klimat niziny Wielkopolskiej. Wyd. UAM, Poznań.
- Woś D. (1989): Ocena potencjalnych zasobów wodnych dorzecza Warty. Wyd. UAM, Poznań.
- Żmudzka E. (1995): Tendencje i cykle zmian temperatury powietrza w Polsce w latach 1951-1990. Prz. Geofiz. 40, 2: 129-139.

PERIODICITY OF OUT FLOW
FROM STRUGA DORMOWSKA RIVER CATCHMENT

S u m m a r y

In the paper periodicity of out flow from small the Struga Dormowska river catchment and periodicity of factors that have influence on out flow (precipitation and air temperatures) using the harmonic (Fourier series) method were analyzed. The analysis was carried out on the basis on measurements made in the Struga Dormowska river catchment to gauge station Gorzyń (44,5 km²), located in west part of the Wielkopolska Lake District – specific discharges (over the period 1987-1995), and in Poznań - precipitation and air temperatures (over the period 1848-1995). Obtained empirical spectrum of out flow oscillations made possible eliminate 8 periods – cycles of 8.9, 4.5, 3.0, 2.2, 1.3, 1.1, 1.0 (predominant) and 0.6 years. Calculated the negative tendency of out flow in 9-years period can be took as a temporary anomaly, because tendency of air temperature and precipitation changes in 148-years period were insignificant.