

**URSZULA KOŁODZIEJCZYK^{*}, MAGDA HUDAK^{*},
DAWID GOLIK^{**}, MATEUSZ MIGDA^{**}**

HYDROLOGIA ZLEWNI RZEKI KOWANIEC

Streszczenie

W pracy przedstawiono charakterystykę hydrograficzną zlewni rzeki Kowaniec (dopływ Dunajca, dorzecze Wisły) oraz bilans wodny tego obszaru. Z przeprowadzonej analizy wynika, że zbadana zlewnia wykazuje parametry hydrologiczne typowe dla rzek górskich, mocno zalesionych. Dominuje tutaj zasilanie powierzchniowe, związane z intensywnymi opadami wiosenno-letnimi. Bilans wodny zlewni rzeki Kowaniec jest dodatni.

Słowa kluczowe: zlewnia, bilans wodny

WSTĘP

Rzeki górskie charakteryzują się specyficznymi parametrami hydrologicznymi. Wynikają one z budowy geologicznej podłoża, a – przede wszystkim – z geomorfologii zlewni i sposobu jej zagospodarowania [Mikulski 1991, Strakel 1999]. Parametry te decydują bowiem o odpływie powierzchniowym [Wrzesiński 2013], czyli głównym składniku bilansu wodnego zlewni rzeki.

Wielkość odpływu podziemnego w zlewniach rzek górskich jest mało znacząca. Zależy ona od zdolności retencyjnej skał wodonośnych i głębokości erozyjnego wcięcia rzek w podłoże. Przestrzenne zróżnicowanie tego parametru jest zbliżone do rozkładu odpływu całkowitego, determinowanego zazwyczaj przez odpływ powierzchniowy [Nowicka 2009].

Odpływ powierzchniowy w zlewniach rzek górskich jest kształtowany przez gwałtowne i krótkotrwałe wezbrania, występujące głównie w okresie wiosenno-letnim, a także – istotne różnice w przepływach średnich dobowych.

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Hydrologii i Geologii Stosowanej

** Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, studenci kierunku inżynieria środowiska

Według mapy reżimów rzecznych w Polsce [Dynowska 1995] zlewnia rzeki Kowaniec wykazuje reżim pluwialno-niwalny, gdzie dominują wezbrania opadowe. Średni odpływ miesiąca letniego jest w tym rejonie wyższy od średniego odpływu miesiąca wiosennego i wynosi 130-180% średniego odpływu rocznego. W analizowanym rejonie zasilanie powierzchniowe wynosi 65%.

Celem uściślenia istniejących danych hydrograficznych autorzy pracy przeprowadzili szczegółową analizę hydrograficzną zlewni rzeki Kowaniec oraz bilans wodny tego obszaru [Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski 1996, Chrzan 2001].

CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI RZEKI KOWANIEC

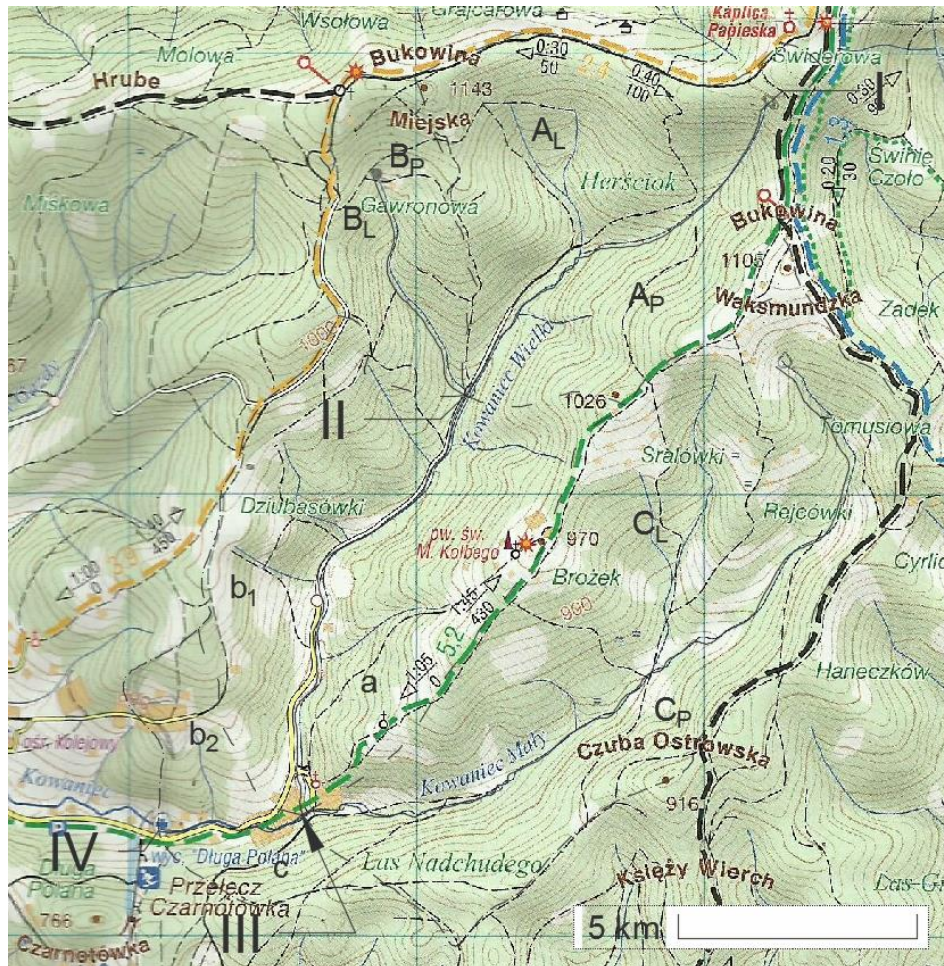
Rzeka Kowaniec jest dopływem Dunajca, prawego dopływu Wisły. Zlewnia rzeki (rys. 1) ma typ górski, wyróżniający się dużym spadkiem terenu oraz nieprzepuszczalnym podłożem. Jej cechą charakterystyczną jest wysoki stopień zalesienia oraz wysokie żleby skalne. W obszarze zlewni rzeki Kowaniec znajdują się szczyty górskie: Bukowina Waksmundzka (1105 m n.p.m.) i Bukowina Miejska (1143 m n.p.m.). W odległości 4,5km od granic zlewni jest zlokalizowany Turbacz (1310 m n.p.m.) – najwyższy szczyt Gorców.



Rys. 1. Lokalizacja zlewni rzeki Kowaniec
Fig. 1. Location river basin Kowaniec

ANALIZA ELEMENTÓW HYDROGRAFICZNYCH RZEKI KOWANIEC

Zlewnię rzeki Kowaniec tworzy szereg dorzeczy częściowych i przyrzeczy (rys. 2). Obliczenia powierzchni zlewni częściowych zawiera tab. 1, natomiast długości dopływów – tab. 2.



Oznaczenia:

I - punkt węzłowy - - - Granice zlewni - - - - Granice zlewni częściowych

Rys. 2. Podział dorzeczna rzeki Kowaniec na zlewnie częściowe
Fig. 2. The division of Kowaniec river basin on a partial catchments

Poniżej przedstawiono obliczenia wskaźników charakterystycznych dla zlewni rzeki Kowaniec.

1. Wskaźnik kolistości C_k – stosunek powierzchni zlewni A do powierzchni koła o powierzchni równej A_k , o tym samym obwodzie, co obwód zlewni P :

$$P = 12,15 \text{ [km]}$$

$$C_k = \frac{A}{A_k} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

$$A_k = 11,74 \text{ [km}^2\text{]}$$

$$C_k = \frac{7,93}{11,74} = 0,68$$

$$C_k = \frac{4\pi \cdot 7,93}{12,15^2} = \frac{12,57 \cdot 7,93}{147,62} = 0,68$$

2. Wskaźnik wydłużenia C_w – stosunek średnicy koła o tej samej powierzchni, co zlewnia A do długości zlewni L :

$$R = 1,59 \text{ [km]}$$

$$D = 3,18 \text{ [km]}$$

$$L = 4,87 \text{ [km]}$$

$$C_w = \frac{2r}{L} = \frac{1,13\sqrt{A}}{L}$$

$$C_w = \frac{1,13\sqrt{7,93}}{4,87} = \frac{1,13 \cdot 2,82}{4,87} = \frac{3,18}{4,87} = 0,65$$

3. Wskaźnik lemniskaty C_l – stosunek powierzchni koła o promieniu równym połowie długości zlewni L [km] do powierzchni zlewni A [km²]:

$$C_l = \frac{\pi L^2}{4A}$$

$$C_l = \frac{\pi(4,87)^2}{4 \cdot 7,93} = \frac{23,72\pi}{31,72} = \frac{74,51}{31,72} = 2,35$$

Wysokość maksymalna:

$$H_{\max} = 1200 \text{ m n.p.m.}$$

Wysokość minimalna:

$$H_{\min} = 700 \text{ m n.p.m.}$$

Wielkość deniwelacji:

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} \text{ [m]}$$
$$\Delta H = 1200 - 700 = 500 \text{ [m]}$$

Średnia wysokość zlewni:

$$H = 0,5(H_{\max} - H_{\min}) \text{ [m]}$$
$$H = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ [m]}$$

Spadek zlewni:

$$R = \frac{\Delta H}{\sqrt{A}} \cdot 1000 \text{ [‰]}$$
$$R = \frac{500}{\sqrt{7930000}} = \frac{500}{2816,03} = 0,18 \text{ [‰]}$$

Spadek działu wodnego:

$$R_p = \frac{\Delta H}{P} \cdot 1000 \text{ [‰]}$$
$$R_p = \frac{500}{12150} \cdot 1000 = 41,15 \text{ [‰]}$$

Spadek doliny rzecznej:

$$I_{dr} = \frac{\Delta H}{l} \cdot 1000 \text{ [‰]}$$
$$I_{dr} = \frac{500}{4560} \cdot 1000 = 109,65 \text{ [‰]}$$

gdzie:

l – długość rzeki [m]

Wskaźnik jeziorności:

$$J_0 = \frac{\sum A_{\text{jez.}}}{A}$$

gdzie:

A_{jez} – powierzchnia jezior [km²]

A – powierzchnia zlewni [km²]

$$J_0 = \frac{0}{7,93} = 0$$

Wskaźnik lesistości:

$$L = \frac{\sum A_{\text{leś}}}{A}$$

$$L = \frac{7,12}{7,93} = 0,90$$

gdzie:

$A_{\text{leś}}$ – powierzchnia lasów [km²]

A – powierzchnia zlewni [km²]

Tab. 1. Powierzchnie zlewni cząstkowych rzeki Kowaniec

Tab. 1. The partial surfaces of the Kowaniec river basin

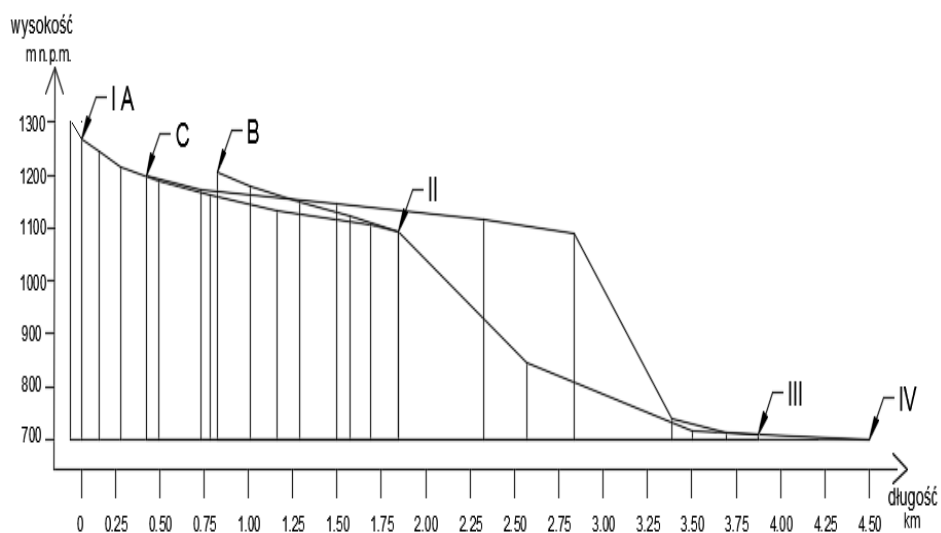
Części składowe dorzecza	
Oznaczenie zlewni cząstkowej	Powierzchnia, km ²
A_L	1,13
A_P	0,73
B_L	0,31
B_P	0,35
b_1	1,00
B_2	0,28
C_L	1,76
C_P	1,16
a	1,01
c	0,20
Powierzchnia dorzecza	
-	7,93

Tab. 2. Długość dopływów rzeki Kowaniec

Tab. 2. The length of tributaries of the Kowaniec river

Dopływy	Długość dopływu, km	Długość rzeki głównej, km
B	1,05	4,56
C	3,55	
Odcinek rzeki głównej	-	-
I-II		1,84
II-III		2,08
III-IV		0,64

Profil podłużny rzeki (rys. 3) rzeka Kowaniec wykazuje największy spadek w części środkowej.



Rys. 3. Profil podłużny rzeki Kowaniec i jej dopływów
Fig. 3. The longitudinal profile of the Kowaniec river and its tributaries

Wykres przyrostu zlewni rzeki Kowaniec – znacznie większą powierzchnię zajmuje prawe dorzecze rzeki (4,85 km²).

Analiza geometrii zlewni:

$$A = 7,93 \text{ [km}^2\text{]}$$

$$B = \frac{A}{L} \text{ [km]}$$

$$L = 4,56 + 0,31 = 4,87 \text{ [km]}$$

$$B = \frac{7,93}{4,87} = 1,63 \text{ [km]}$$

gdzie:

B – szerokość zlewni [km]

A – powierzchnia zlewni [km²]

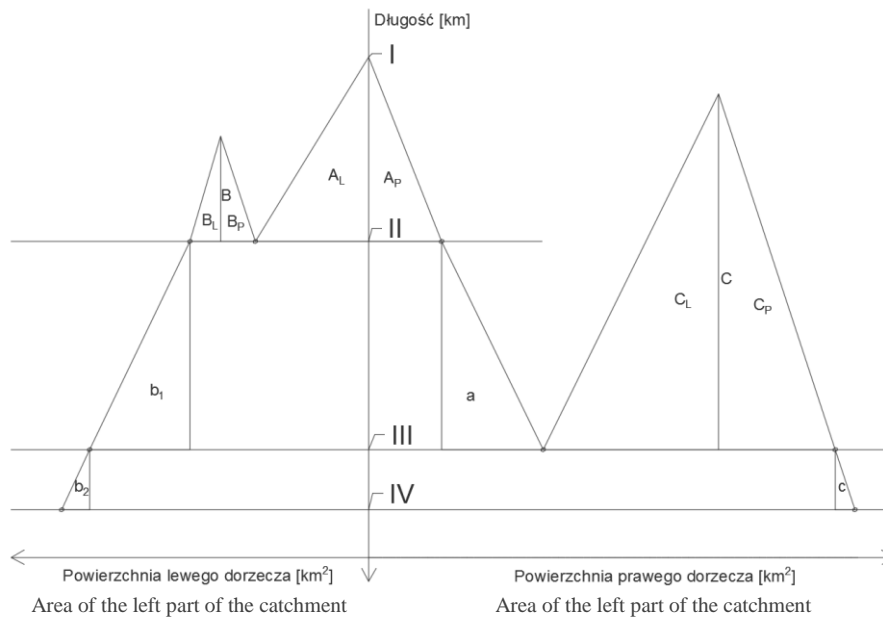
L – długość zlewni, długość rzeki powiększona o odcinek pomiędzy źródłem, a granicą zlewni [km]

Wskaźnik formy C_f – kształt zlewni przyrównany do kwadratu o powierzchni równej zlewni A:

$$C_f = \frac{A}{L^2} = \frac{B}{L}$$

$$C_f = \frac{7,93}{4,87^2} = \frac{7,93}{23,72} = 0,33$$

$$C_f = \frac{1,63}{4,87} = 0,33$$

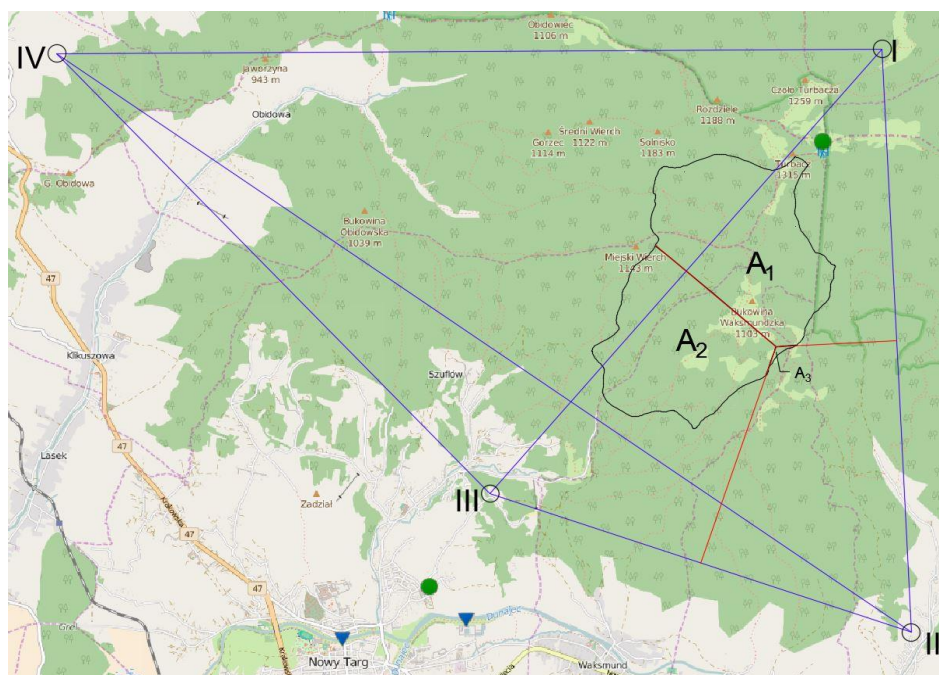


Rys. 4. Wykres przyrostu dorzecza rzeki Kowaniec
Fig. 4. The diagram of the Kowaniec river catchment evolution

BILANS WODNY ZLEWNI RZEKI KOWANIEC

Bilans wodny rzeki Kowaniec przeprowadzono poprzez analizę następujących składników: opadu, odpływu, parowania i retencji.

Opad w zlewni ustalono metodą wielokątów, wykorzystując dane meteorologiczne z czterech stacji obserwacyjnych sąsiadujących z jej obszarem (rys. 5).



Rys. 5. Schemat obliczeń opadu w zlewni metodą wielokątów
 Fig. 5. Schema of the precipitation calculations in the catchment,
 using the polygons method

Obliczenia średniego opadu w zlewni rzeki uzyskanego metodą wielokątów podano w tab. 3.

Tab. 3. Średni opad w zlewni rzeki Kowaniec

Tab. 3. The average precipitation for the Kowaniec river catchment

Numer pola	Powierzchnia wielokąta km ²	Wysokość opadu w polu P _i [m]	Objętość opadu w polu P _i = A _i · P _i	
			m ³	km ³
A ₁	4,27	1,199	5117036,6	0,00511
A ₂	3,63	0,805	2923895,8	0,00292
A ₃	0,02	0,954	23067,6	0,00002
Objętość opadu w całej zlewni ustalona metodą wielokątów			8063999,9	0,00806

Średni opad w zlewni wynosi:

$$P = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{V}{\sum A_i} \text{ [m]}$$

gdzie:

P_i - wysokość opadu równa wartości wysokości opadu w danej stacji meteorologicznej [m]

A_i – powierzchnie pól poszczególnych wielokątów [m²]

ΣA_i - suma powierzchni wszystkich pól [m²]

$$P = \frac{8063999,9}{7924102,1} = 1,02 \text{ [m]}$$

Obliczenie przepływów charakterystycznych rzeki metodą wzorów Iszkowskiego:

- średni roczny przepływ;

$$Q_{\text{sr}} = \frac{C_s \cdot P \cdot A}{t} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$Q_{\text{sr}} = \frac{0,29 \cdot 1,02 \cdot 7924102,1}{31536000} = 0,074 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

gdzie:

C_s - współczynnik średniego rocznego odpływu

P - średni roczny opad [m]

A - powierzchnia zlewni [m²]

t - czas [s]

- średni roczny spływ jednostkowy;

$$q = \frac{Q_{\text{sr}}}{A \cdot 1000} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$q = 9,38 \cdot 10^{-12} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

- przepływ minimalny (absolutnie najniższy);

$$Q_{\text{min}} = 0,2 \cdot v \cdot Q_{\text{sr}} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

gdzie:

v - współczynnik zależny od fizjografii, budowy geologicznej

$$Q_{\text{min}} = 0,0044596 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

- jednostkowy spływ minimalny;

$$q = \frac{Q_{\text{min}}}{A \cdot 1000} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$q_{\text{min}} = 5,628 \cdot 10^{-12} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

- przepływ średni niski;

$$Q_1 = 0,4 \cdot v \cdot Q_{\text{sr.}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$Q_1 = 0,0089191 [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

- jednostkowy średni spływ niski;

$$q_1 = \frac{Q_1}{A \cdot 1000} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$q_1 = 1,126 \cdot 10^{-12} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

- przepływ średni normalny;

$$Q_2 = 0,7 \cdot v \cdot Q_{\text{sr.}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$Q_2 = 0,0156085 [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

- jednostkowy średni spływ normalny

$$q_2 = \frac{Q_2}{A \cdot 1000} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$q_2 = 1,97 \cdot 10^{-12} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Obliczenie przepływów wielkich wód o nieokreślonym prawdopodobieństwie występowania metodą wzoru Iszkowskiego:

Przepływ wielkiej wody:

$$Q_k = \frac{m \cdot C_w \cdot P \cdot A}{t} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

gdzie:

Q_k - przepływ wielkiej wody, tzw. katastrofalnej [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

P - opad [m]

A - powierzchnia zlewni [m^2]

C_w - współczynnik zależny od rzeźby terenu i kategorii zlewni

m - współczynnik zależny od powierzchni i konfiguracji terenu zlewni

t - czas {s}

$$Q_k = 0,7060987 [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Spływ jednostkowy

$$q_k = \frac{Q_k}{A \cdot 1000} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$q_k = 8,911 \cdot 10^{-11} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Obliczenie przepływów wielkich wód o nieokreślonym prawdopodobieństwie występowania metodą wzoru Leowego:

Przepływy wielkich wód

$$Q_{Lew} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot P_{(l,z)} \cdot A}{t} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

gdzie:

$Q_{(l,z)}$ - wielka woda (letnia, zimowa)

P_l - średni opad z miesięcy letnich (można przyjąć $P_l = 0,17 \cdot P$) [m]

P_z - średni opad z miesięcy zimowych (można przyjąć $P_z = 0,25 \cdot P$) [m]

k_1, k_2, k_3, k_4 - współczynniki określające charakter zlewni

t - czas [s]

$$Q_{Lew(l)} = 0,0392135 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$Q_{Lew(z)} = 0,057668 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Spływ jednostkowy wody letniej i zimowej:

$$q_{Lew(l,z)} = \frac{Q_{Lew}}{A \cdot 1000} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$q_{Lew(l)} = 4,949 \cdot 10^{-12} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$q_{Lew(z)} = 1,243 \cdot 10^{-12} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Obliczenie odpływu

Odpływ z całej powierzchni zlewni

$$V = O_{sr} \cdot t \text{ [m}^3]$$

gdzie:

O_{sr} - średni roczny przepływ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

t - czas (ilość sekund w roku - 31536000) [s]

$$V = 2343949,4 \text{ [m}^3]$$

Odpływ jednostkowy

$$H = \frac{V}{A} \text{ [m]}$$

gdzie:

V - odpływ z całej zlewni [m^3]

A - powierzchnia zlewni [m^2]

$$H = 0,2958 \text{ [m]}$$

Określenie wielkości parowania

Wielkość parowania można określić na podstawie mapy izotym rocznych ustalonych przez Awłasiewicza (1953). Dla rzeki Kowaniec wynosi ona $E = 478$ [mm].

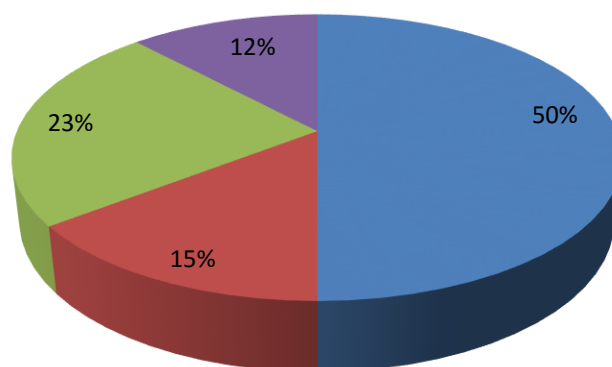
Zestawienie obliczonych składników bilansu wodnego rzeki Kowaniec zawiera tab. 4 oraz rys. 6 i rys. 7.

Tab. 4. Zestawienie elementów bilansu wodnego

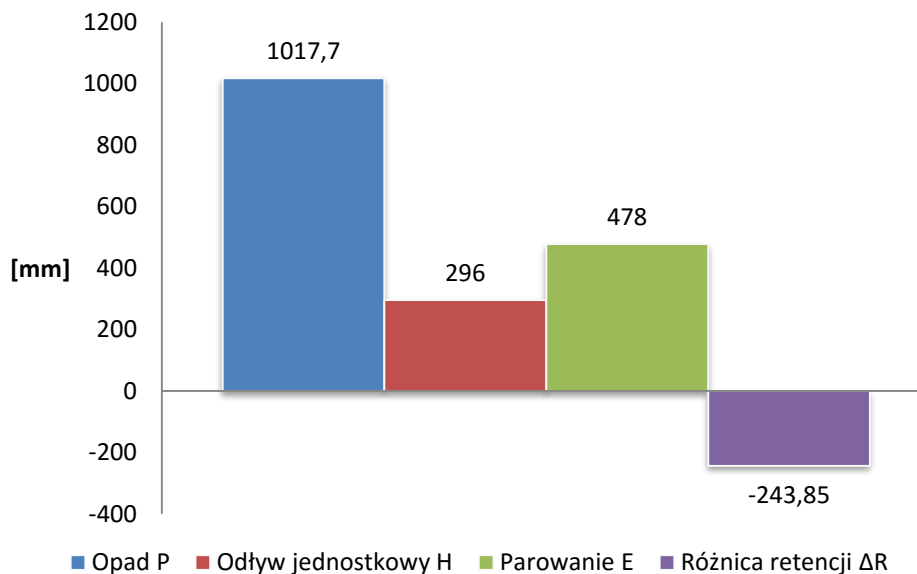
Tab. 4. The elements of the water balance

Rok	Opad P [mm]	Odpływ jednostkowy H [mm]	Współczynnik odpływu $\alpha = H / P$	Parowanie E [mm]	Różnica retencji ΔR [mm] $\Delta R = P - (H + E)$
2014	1017,7	296	0,29	478	243,85

■ Opad P ■ Odpływ jednostkowy H ■ Parowanie E ■ Różnica retencji ΔR



Rys. 6. Wykres kołowy bilansu wodnego rzeki Kowaniec
Fig. 6. Circular diagram of the water balance for the Kowaniec river



Rys. 7. Wykres słupkowy bilansu wodnego rzeki Kowaniec
Fig. 7. The bar graph of the Kowaniec river water balance

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W zlewni rzeki Kowaniec zaobserwowano następujące składniki bilansu wodnego: średni opad w ilości 1017,7 mm (50%), odpływ jednostkowy w ilości 296 mm (15%), parowanie wynoszące 478 mm (23%), a w konsekwencji – wielkość retencji w ilości +243mm (12%). Dane te wskazują na dodatni (nadwyżkowy) bilans analizowanej zlewni.

Bilans wodny zlewni rzeki Kowaniec jest dodatni. Jest to spowodowane położeniem dorzecza w obszarze górskim oraz silnym zalesieniem tego terenu, co potwierdza tezę, że lasy zatrzymują duże ilości wody opadowej, a tym samym chronią przed powodzią.

LITERATURA

1. AWŁASEWICZ W.; 1953. Sposób określania odpływów rzek przy pomocy mapy parowania. Gosp. Wodna, R. 13, z. 6, Warszawa.
2. BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., MIKULSKI Z.; 1996. Hydrologia ogólna, Warszawa, Wyd. Naukowe PWN.

3. CHRZAN T.; 2001. Geologia i hydrogeologia. Redakcja Wydawnictw. Nauk-Technicznych, Zielona Góra.
4. BORÓWKA R.K.; 2013. Współczesne problemy badań geograficznych, Cedro A., Kavetsky I. (red.), nr 01.
5. DYNOWSKA I.; 1995. Wody. [W:] Warszńska J. (red.), Karpaty polskie: przyroda, człowiek i jego działalność. Wyd. UJ, Kraków.
6. MIKULSKI Z.; 1991. O początkach nazwy hydrologia i nauk pochodnych, „Przegląd Geofizyczny”, t. 34, z. 2, s. 129-140.
7. NOWICKA B.; 2009. Ocena zróżnicowania ekstremalnie wysokich przepływów wybranych rzek polskich, Prace i Studia Geograficzne.
8. STRAKEL L. (red); 1999., Geografia Polski, środowisko przyrodnicze, PWN.
9. WRZESIŃSKI A.; 2013. Transformacje reżimu odpływu rzek w Polsce.

THE HYDROLOGY OF THE WATERSHED OF KOWANIEC RIVER

S u m m a r y

The paper presents the characteristics of hydrographic watershed of the Kowaniec river (a tributary of the Dunajec river basin) and the water balance of the area. The analysis shows that hydrological parameters are typical for the mountain rivers and heavily forested areas. The surface supplying had a dominant character, what should be connected with intense rainfall in the period of spring and summer. The total water balance of the Kowaniec river watershed has been calculated as positive one.

Key words: watershed, water balance,